

## **TUGAS AKHIR**

### **ANALISIS KEANDALAN TRANSFORMATOR DAYA MENGGUNAKAN METODE DISTRIBUSI WEIBULL (APLIKASI PT. PLN (PERSERO) GARDU INDUK PAYA PASIR)**

*Diajukan Untuk Melengkapi Tugas-Tugas dan Sebagai Persyaratan Memperoleh  
Gelar Sarjana Teknik (S.T) Pada Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik,  
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Oleh :**

**MUHAMMAD ARVY RAMADHAN**

**NPM : 1207220085**



**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN  
2017**



**LEMBAR PENGESAHAN**

**TUGAS AKHIR**

**“Analisis Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull ( Aplikasi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Pasir) ”.**

*Diajukan untuk memenuhi tugas-tugas dan syarat-syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Fakultas Teknik Program Studi Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

**Disusun Oleh :**

**MUHAMMAD ARVY RAMADHAN**

**NPM : 1207220085**

Telah Diuji dan Disahkan Pada Tanggal  
29 April 2017

Pembimbing I

(Arnawan Hsb,S.T.,M.T.)

Pembimbing II

(M. Syafril,S.T.,M.T.)

Pembanding I

(Ir. Eddy Warman, M.T.)

Pembanding II

(M. Adam, S.T.M.T.)

Diketahui dan Disahkan  
Program Studi Teknik Elektro  
Ketua,



(Rohana,S.T.,M.T.)

**PROGRAM STUDI TEKNIK ELEKTRO  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA  
MEDAN**

**2017**

## SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini :

Nama Lengkap : Muhammad Arvy Ramadhan  
NPM : 1207220085  
Tempat / Tgl Lahir : Medan / 19 April 1990  
Fakultas : Teknik  
Program Studi : Teknik Elektro

Menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan tugas akhir (skripsi) saya ini yang berjudul :

**“Analisis Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull (Aplikasi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Pasir ”**

Bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena berhubungan material maupun non material, ataupun segala kemungkinan lain yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia di proses oleh tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian surat pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakan integritas Akademik di Program Studi Teknik Elektro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.



Medan, 22 Maret 2016  
Saya yang menyatakan

  
(MUHAMMAD ARVY RAMADHAN)

## ABSTRAK

*Keandalan merupakan kemampuan sistem atau komponen untuk memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam kondisi tertentu selama rentang waktu yang spesifik. Keandalan transformator dipengaruhi oleh tingkat kegagalan. Semakin sering gagal atau tidak beroperasi maka semakin tidak handal pula transformator tersebut melakukan kerjanya. Kegagalan transformator di sub- sistem transmisi tidak hanya mengurangi keandalan sistem tenaga tetapi juga memiliki efek yang signifikan terhadap kualitas daya. Untuk meningkatkan keandalan utilitas, analisis kegagalan dan tingkat, asal kegagalan dan penyebab kerusakan fisik harus dipelajari. Metode yang digunakan adalah distribusi weibull. Statistik Weibull telah banyak digunakan sebagai metode matematika untuk menghitung laju kegagalan, keandalan, dan memprediksi waktu sisa umur peralatan apapun.*

*Tugas Akhir ini membahas analisis keandalan transformator daya (150/20 kV) yang dipasang di GI Paya Pasir PT PLN persero, Sumatera Utara. Tujuan tugas akhir ini adalah mengetahui penyebab PMT 150/20 kV transformator daya, dan nilai indeks keandalan transformator daya.*

*Penyebab PMT 150/20 kV transformator daya 60 MVA trip/lepas yang disebabkan dari gangguan eksternal terjadi 15 kali trip/lepas selama 2446 menit, gangguan internal terjadi 11 kali trip/lepas selama 4085 menit dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya terjadi 4 kali trip/lepas selama 24 menit, total gangguan yang terjadi sebanyak 30 kali trip/lepas selama 6555 menit*

*Berdasarkan hasil pengolahan data, didapatkan nilai MTTF (Mean Time To Failure) adalah 0,4327%/tahun dan nilai dari fungsi laju kegagalan atau % fungsi hazardous didapatkan nilai laju rata-rata kegagalan yaitu 2,3113%/tahun.*

*Kata Kunci : Metode Distribusi Weibull, MTTF dan Keandalan.*

## ABSTRACT

*Reliability is the ability of the system or component to fulfill the required function under certain conditions over a specific time span. The reliability of the transformer is affected by the failure rate. The more often it fails or does not operate the more unreliable the transformer does its work. Transformer failures in the transmission sub-system not only reduce the reliability of the power system but also have a significant effect on power quality. To improve utility reliability, failure and rate analysis, the origin of failure and causes of physical damage should be studied. The method used is the weibull distribution. Weibull statistics have been widely used as mathematical methods to calculate failure rates, reliability, and predict the remaining life span of any equipment.*

*This Final Project discusses the reliability analysis of power transformers (150/20 kV) installed at GI Paya Pasir PT PLN Persero, North Sumatra. The purpose of this final task is to know the cause of PMT 150/20 kV power transformer, and reliability value value of power transformer.*

*Causes of PMT 150/20 kV 60 MVA trip / loose power transformer caused by external interference occurs 15 trips / off for 2446 minutes, internal disturbance occurs 11 trips / trips for 4085 minutes and unknown cause cause 4 trips / off for 24 minutes, total disruption occurred 30 times trip / loose during 6555 minutes.*

*Based on the results of data processing, the value of MTTF (Mean Time To Failure) is 0.4327% / year and the value of the function of the failure rate or hazardous% function found the average rate of failure rate of 2.3113% / year.*

*Keywords: Weibull Distribution Method, MTTF and Reliability.*

## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum wr.wb*

Puji syukur kehadiran ALLAH SWT atas rahmat dan karunianya yang telah menjadikan kita sebagai manusia yang beriman dan insya ALLAH berguna bagi semesta alam. Shalawat berangkaikan salam kita panjatkan kepada junjungan kita Nabi besar Muhammad.SAW yang mana beliau adalah suri tauladan bagi kita semua dan telah membawa kita dari zaman kebodohan menuju zaman yang penuh dengan ilmu pengetahuan.

Tulisan ini dibuat sebagai tugas akhir untuk memenuhi syarat dalam meraih gelar kesarjanaan pada Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara. Adapun judul tugas akhir ini adalah “***Analisis Keandalan Transformator Daya Menggunakan Metode Distribusi Weibull (Aplikasi PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Pasir)***”.

Selesaiannya penulisan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, oleh karena itu penulis menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Ayahanda dan Ibunda, yang dengan cinta kasih dan sayang setulus jiwa mengasuh, mendidik dan membimbing dengan segenap ketulusan hati tanpa mengenal kata lelah sehingga penulis bisa seperti saat ini.
2. Bapak Rahmatullah, ST, MSc. Selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
3. Ibu Rohana, ST, MT. Selaku Ketua Program Studi Teknik Elektro.
4. Bapak Zulfikar, ST, MT. Selaku Sekretaris Program Studi Teknik Elektro.
5. Bapak Arnawan Hsb, S.T.,M.T. Selaku Dosen Pembimbing I dalam penyusunan tugas akhir ini.
6. Bapak M. Syafril, S.T.,M.T. Selaku Dosen Pembimbing II dalam penyusunan tugas akhir ini.
7. Bapak Ir. Eddy Warman, M.T. Selaku Dosen Penguji I.
8. Bapak M. Adam, S.T.M.T. Selaku Dosen Penguji II.

9. Bapak dan Ibu Dosen di Fakultas Teknik Elektro Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
10. Karyawan Biro Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
11. Teman-teman seperjuangan Fakultas Teknik, khususnya TEKEL A-1 Pagi 2012 yang selalu memberi dukungan dan motivasi kepada penulis.

Penulis menyadari bahwa tulisan ini masih jauh dari kata sempurna, hal ini disebabkan keterbatasan kemampuan penulis, oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik & saran yang membangun dari segenap pihak.

Akhir kata penulis mengharapkan semoga tulisan ini dapat menambah dan memperkaya lembar khazanah pengetahuan bagi para pembaca sekalian dan khususnya bagi penulis sendiri. Sebelum dan sesudahnya penulis mengucapkan terima kasih.

*Wassalamu'alakum wr.wb*

Medan, 2017  
Penulis

MUHAMMAD ARVY RAMADHAN  
1207220085

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
KATA PENGANTAR .....	iii
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR GAMBAR .....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b>	
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penulisan.....	2
1.4. Manfaat Penulisan.....	2
1.5. Batasan Masalah .....	3
1.6. Metodologi Peneitian .....	4
1.7. Sistematika Penulisan .....	4
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1. Tinjauan Pustaka Relevan.....	6
2.2. Sistematika Tenaga Listrik .....	9
2.3. Transformator .....	11
2.3.1. Prinsip Dasar Transformator.....	11
2.3.2. Rugi-rugi Transformator.....	17
2.4. Transformator 3 Fasa .....	22
2.5. Pengertian & Fungsi Transformator Daya.....	26
2.6. Komponen Transformator Daya .....	27

2.6.1. Bagian Utama Transformator Daya .....	27
2.6.2. Peralatan Bantu Transformator Daya .....	29
2.7. Proteksi Transformator Daya.....	32
2.7.1. Sistem Proteksi .....	32
2.7.2. Pembagian Daerah Proteksi .....	35
2.7.3. Pengelompokkan Sistem Proteksi.....	38
2.7.4. Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi .....	38
2.7.5. Rele Proteksi Transformator Daya .....	39
2.8. Kegagalan Sistem atau Komponen .....	40
2.8.1. Kurva Bak Mandi.....	40
2.8.2. Klasifikasi Kegagalan .....	43
2.9. Gangguan Transformator Daya.....	44
2.9.1. Gangguan Eksternal .....	44
2.9.2. Gangguan Internal.....	45
2.9.3. Diagram Alir Gangguan.....	45
2.9.4. Diagram Alir Mengatasi Gangguan .....	47
2.10. Keandalan Sistem Tenaga Listrik .....	48
2.10.1. Defenisi Keandalan .....	49
2.11. Pemeliharaan Peralatan Listrik Tegangan Tinggi.....	50
2.11.1. Tujuan Pemeliharaan .....	50
2.11.2. Jenis-jenis Pemeliharaan .....	51
2.12. Pola Distribusi Statistika.....	52
2.13. Pola Distribusi Weibull.....	54
2.13.1. Parameter Distribusi Weibull .....	55

2.13.2. Estimasi 2 Parameter Weibull .....	56
2.13.3. Indeks Keandalan Distribusi Weibull.....	58
2.13.4. Perhitungan Parameter Distribusi Weibull.....	60
2.13.5. Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau Fungsi Hazardous...	60
2.13.6. Perhitungan Nilai MTTF ( <i>Mean Time To Failure</i> ).....	61

### **BAB 3 METODE PENELITIAN**

3.1. Lokasi Penelitian.....	62
3.2. Waktu Penelitian.....	62
3.3. Alat Penelitian.....	62
3.4. Jalannya Penelitian.....	62
3.4.1. Studi Literature .....	63
3.4.2. Wawancara.....	63
3.4.3. Riset .....	63
3.4.4. Bimbingan.....	63
3.5. Diagram Metode Penelitian .....	64
3.6. Data Transformator Daya .....	65
3.7. Data Pengelompokan Trip/Lepas PMT 150/20 kV 3 Transformator Daya 60 MVA .....	65

### **BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN**

4.1. Analisa Data Parameter Weibull.....	70
4.2. Analisa Data Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau Fungsi Hazardous .....	73
4.3. Analisa Data Perhitungan Nilai MTTF ( <i>Mean Time To Failure</i> ).....	75

4.4. Program Matlab Perhitungan Parameter & Indeks Keandalan	
Transformator Daya .....	76
<b>BAB 5 PENUTUP</b>	
5.1. Kesimpulan .....	80
5.2. Saran .....	80
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>81</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
Gambar 2.1 Single Line Diagram Sistem Tenaga Listrik .....	9
Gambar 2.2 Rangkaian Transformstor .....	14
Gambar 2.3 Rangkaian Ekvivalen transformator .....	15
Gambar 2.4 Rangkaian Ekvivalen Ideal Transformator.....	17
Gambar 2.5 Proses Timbulnya Rugi – Rugi Inti dan Rugi – Rugi Tembaga	18
Gambar 2.6 Kurva Histerisis .....	19
Gambar 2.7 Trafo Hubungan Y- .....	23
Gambar 2.8 Trafo Hubungan - Y .....	24
Gambar 2.9 Trafo Hubungan Y – Y .....	25
Gambar 2.10 Trafo Hubunga - .....	26
Gambar 2.11 Transformator Daya.....	27
Gambar 2.12 Koordinasi Sistem Proteksi .....	35
Gambar 2.13 Pembagian Daerah Proteksi Sistem Tenaga Listrik .....	36
Gambar 2.14 Kurva Bak Mandi .....	41
Gambar 2.15 Diagram Alie Gangguan Penyebab PMT Trip/Lepas .....	46
Gambar 2.16 Diagram Alir Mengatasi Gangguan.....	47
Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian .....	64
Gambar 4.1 Grafik Nilai X dan Y .....	73
Gambar 4.2 Program Mathlab Perhitungan Parameter dan Indeks Keandalan Transformator Daya .....	76
Gambar 4.3 Hasil Perhitungan Fungsi Kumulatif Dengan Program Mathlab .....	77

Gambar 4.4	Hasil Perhitungan Nilai X dan Y Dengan Perhitunga Matlab	78
Gambar 4.5	Hasil Perhitungan Parameter Dengan Program Matlab.....	79
Gambar 4.6	Hasil Perhitungan Laju Kegagalan dan MTTF Dengan Program Matlab .....	79

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
Tabel 2.1 Pendingin Transformator Daya .....	30
Tabel 3.1 Gangguan Eksternal Penyebab PMT 150/20 kV	
Transformator Daya 60 MVA Trip/Lepas .....	66
Tabel 3.2 Gangguan Internal Penyebab PMT 150/20 kV	
Transformator Daya 60 MVA Trip/Lepas .....	67
Tabel 3.3 Gangguan Tidak Diketahui Penyebab PMT 150/20 kV	
Transformator Daya 60 MVA Trip/Lepas .....	68
Tabel 3.4 Transformator Daya dan Gangguan Penyebab Kegagalan .....	68
Tabel 3.5 Penyebab Kegagalan, Jumlah Trip/Lepas dan MTTF .....	69
Tabel 4.1 Fungsi Probabilitas Kumulatif .....	71
Tabel 4.2 Nilai X dan Y .....	72
Tabel 4.3 Fungsi Laju Kegagalan .....	74
Tabel 4.4 Nilai MTTF ( <i>Mean Time To Failure</i> ) .....	75

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Sistem tenaga listrik merupakan jaringan kompleks yang terdiri dari banyak komponen seperti generator sinkron, transformator daya, jaringan transmisi, jaringan distribusi dan beban. Ketersediaan operasional transformator daya adalah suatu kepentingan strategis bagi perusahaan utilitas listrik. Keandalan transformator daya dipengaruhi oleh gangguan dan pemeliharaan transformator daya tersebut. Gangguan yang serius pada transformator daya menyebabkan kontinuitas pelayanan listrik terganggu dan berakibat kerugian secara ekonomi. Pemeliharaan yang terjadwal dan teratur dapat meningkatkan keandalan transformator daya, akan tetapi pemeliharaan yang tidak tuntas dan tidak terjadwal dengan baik akan membuat transformator daya lebih sering tidak beroperasi atau melayani.

Penelitian ini dilaksanakan di PT. PLN (Persero) Gardu Induk Paya Pasir, Jalan Pembangkitan Listrik No. 1 Paya Pasir, Medan – Marelan, Sumatera Utara. Gardu Induk Paya Pasir Memiliki 3 buah Transformator Daya yang berkapasitas 60 MVA.

Dengan menggunakan data gangguan dan pemeliharaan transformator daya, dapat dilihat penyebab PMT transformator daya trip/lepas, dan dapat dihitung indeks keandalan transformator daya. Indeks keandalan transformator daya adalah laju kegagalan atau fungsi *Hazardous* (t) dan MTTF

(*Mean Time To Failure*), adapun metode statistik yang digunakan untuk mengolah dan menganalisis data adalah metode Distribusi Weibull.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Dari latar belakang diatas, maka dapat dirumuskan beberapa permasalahan antara lain :

1. Apakah PMT itu?
2. Dari manakah sumber penyebab PMT?
3. Bagaimana menghitung keandalan transformator daya tersebut?
4. Bagaimana hasil analisis penyebab PMT terhadap transformator daya?

## **1.3. Tujuan Penulisan**

Adapun tujuan dari penulisan tugas akhir ini adalah

1. Mengklasifikasikan penyebab PMT 150/20 kV transformator daya trip/lepas.
2. Menganalisis indeks keandalan transformator daya yaitu laju kegagalan atau fungsi *Hazardous* (t) dan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*).

## **1.4. Manfaat Penulisan**

Manfaat penulisan ini bagi Universitas ialah :

1. Mengetahui penyebab PMT 150/20 kV trip/lepas yang terjadi pada transformator daya.

2. Mendapatkan nilai indeks keandalan transformator daya yaitu laju kegagalan atau fungsi *Hazardous* (t) dan nilai MMTF ( *Mean Time To Failure*).

Manfaat penulisan ini bagi Mahasiswa ialah :

1. Mahasiswa dapat mempelajari dan mengetahui apa itu transformator daya dan kegunaannya.
2. Mahasiswa dapat mempelajari apa itu fungsi *Hazardous* dan nilai MTTF ( *Mean Time To Failure* ).

### 1.5. Batasan Masalah

Dalam tugas akhir ini, permasalahan dibatasi pada :

1. Hanya membahas transformator daya yang ada di GI titi kuning.
2. Indeks yang digunakan sebagai indeks keandalan adalah laju kegagalan atau fungsi *Hazardous* (t), MTTF ( *Mean Time To Failure*).
3. Tidak membahas perhitungan rele proteksi transformator daya. d. Tidak membahas perhitungan gangguan transformator daya.
4. Tidak membahas mengenai biaya operasi listrik
5. Tidak membahas mengenai biaya operasi listrik
6. Metode perhitungan laju kegagalan atau fungsi *Hazardous* (t), MTTF ( *Mean Time To Failure* ) menggunakan metode statistika yaitu metode Distribusi Weibull.
7. Metode perhitungan parameter Distribusi Weibull menggunakan metode LSM ( *Least Square Method* )

8. Perhitungan parameter dan indeks keandalan menggunakan program *Matlab* .

## **1.6. Metodologi Penelitian**

Metode yang digunakan dalam penulisan tugas akhir ini adalah :

1. Studi literatur

Yaitu dengan mempelajari buku referensi, buku manual, artikel dari media cetak dan internet, dan bahan kuliah yang mendukung dan berkaitan dengan topik tugas akhir ini.

2. Studi Bimbingan

Berupa tanya jawab dengan dosen pembimbing yang telah ditunjuk oleh pihak Jurusan Teknik Elektro UMSU mengenai masalah-masalah yang timbul selama penulisan Tugas Akhir berlangsung.

3. Studi Lapangan

Yaitu dengan melakukan observasi langsung ke Gardu Paya Pasir PT. PLN persero.

## **1.7. Sistematika Penulisan**

Adapun sistematika penulisan proposal tugas akhir adalah sebagai berikut:

### **BAB I PENDAHULUAN**

Bagian ini berisikan latar belakang, tujuan dan manfaat penulisan, batasan masalah, metodologi penulisan, dan sistematika penulisan.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bagian ini berisikan penjelasan-penjelasan mengenai keandalan dan kegagalan sistem atau komponen, pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi, transformator, transformator daya, sistem proteksi transformator daya, gangguan transformator daya sebagai dasar teori Tugas Akhir ini.

## BAB III METODE PENELITIAN

Bagian ini berisikan penjelasan mengenai pola Distribusi Statistika, parameter dan estimasi 2 parameter Distribusi Weibull, indeks keandalan Distribusi Weibull yaitu laju kegagalan atau fungsi *Hazardous* (t), MTTF (*Mean Time To Failure*).

## BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini berisi tentang analisis keandalan dari transformator daya yang ada di GI Paya Pasir P.T PLN Persero, Sumatera Utara.

## BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bagian ini berisikan kesimpulan dan saran dari tugas akhir ini.







## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Tinjauan Pustaka Relevan**

Banyak penelitian yang telah membahas tentang analisa keandalan peralatan listrik menggunakan metode distribusi weibull. Penelitian yang sudah pernah dilakukan pada dasarnya memiliki kesamaan yakni untuk memperbaiki tingkat keandalan sistem.

Berdasarkan disertasi dari Olli Salmela pada tahun 2005 yang berjudul “*Reliability of Telecommunication Equipment* “. Tesis ini mempelajari keandalan peralatan komunikasi, komponen – komponennya. Perhatian khusus diberikan untuk menciptakan kuat hubungan antara keandalan analisis dilakukan pada tingkat hirarki yang berbeda. Tesis dimulai dengan meneliti suhu dreating. Hal ini ditemukan bahwa generik prosedur berdasarkan buku pegangan mungkin tidak selalu menjadi sangat menarik, karena mereka tidak mengambil, memuaskan, mempertimbangkan persyaratan seumur hidup yang sebenarnya. Sebuah pendekatan alternatif adalah diusulkan sebagai obat untuk situasi ini. Thermal bersepeda nuku pegangan persyaratan yang disurvey, dan berdasarkan temuan beberapaperangkat tambahan diusulkan. Selanjutnya, komponen dan pendekatan khusus produk untuk membuat persyaratan siklus termal disarankan. Ketika menerapkan pendekatan baru beberapa faktor yang dapat diperhitungkan: kebutuhan hidup produk, lapangan lingkunga, hasil uji reliabilitas, dan distribusi statistik dari komponen populasi.

Agus Fikri, ST., MM dan Muhammad Irvan, ST., MT pada tahun 2002 dalam jurnal ilmiah yang berjudul “ ANALISIS KEANDALAN MESIN PRODUKSI DENGAN FUNGSI DISTRIBUSI WEIBULL “. Dalam sistem produksi, semua mesin yang berkaitan dengan penciptaan nilai tambah suatu objek atau produk harus mampu beroperasi dengan baik, kegagalan pada mesin bisa mengganggu proses, bahkan lebih ekstrim dapat menghentikan proses produksi secara keseluruhan. Untuk mempertahankan kegigihan kegiatan produksi tanpa gangguan lama, secara khusus diperlukan penentuan dan analisis keandalan operasi mesin. Penelitian ini dilakukan dengan pengolahan data waktu operasional, dan waktu perbaikan mesin cetak Heidelberg CD – 102 2002 menggunakan metode distribusi weibull, untuk mendapatkan kurva yang menggambarkan pemodelan yang sebenarnya kondisi mesin dan perbaikan kegiatan. Dengan dasar kurva ini, dapat dianalisis tingkat kegagalan, kemungkinan kegagalan dan yang paling penting adalah keandalan mesin cetak. Berdasarkan hasil pengolahan data, menemukan bahwa waktu rata – rata kegagalan (MTTF) adalah 1,913 jam. Tingkat keandalan ketika mesin bekerja dengan MTTF sejauh itu masih tidak puas di 36,751%, dengan tingkat kegagalan yang tinggi di awal mesin bekerja sebelum waktu MTTF. Oleh karena itu kegiatan pemeliharaan mesin perlu meninjau bahwa telah dilaksanakan oleh perusahaan selama bertahun – tahun.

Secara umum transformator terdiri dari dua komponen penyusun, yakni material dielektrik, yang menyusun sistem isolasi transformator, yaitu isolasi cair (minyak transformator, askarel, dan silicon) dan isolasi padat (kertas kraft,

*pressboard*, kayu, dan produk selulosa lainnya), dan material magnetik, yang terdiri dari belitan (*winding*) dan inti (*core*).

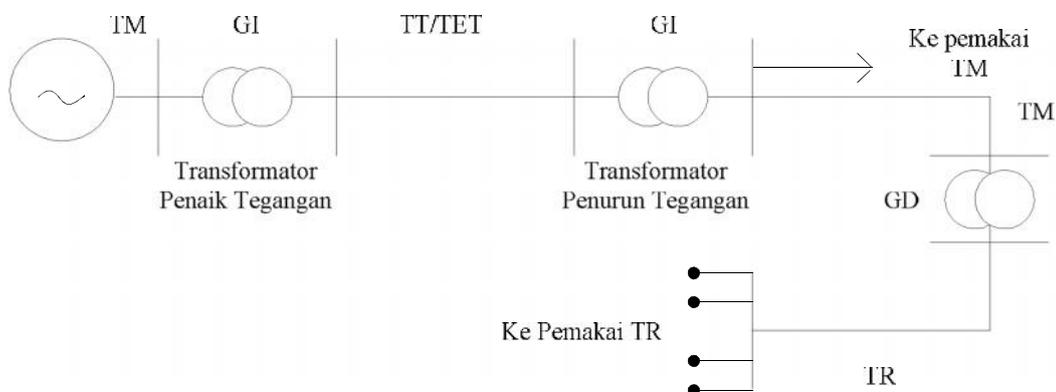
Daya listrik yang dihasilkan pada pembangkit tenaga listrik harus mengalami beberapa tahap pendistribusian sebelum daya digunakan oleh konsumen. Pembangkitan dan pendistribusian daya dari pusat pembangkit memungkinkan daya dihasilkan pada satu lokasi untuk penggunaan setiap saat pada lokasi lain yang jauh. Karena berbagai persoalan teknis, tenaga listrik hanya dibangkitkan pada tempat-tempat tertentu saja, sedangkan konsumen tenaga listrik tersebar di berbagai tempat. Dalam transmisi tenaga listrik dari tempat dibangkitkan sampai ke tempat pelanggan memerlukan berbagai penanganan teknis. Transmisi tenaga listrik dalam jumlah sangat besar melalui jarak yang sangat jauh paling efisien menggunakan tegangan tinggi. Tegangan tinggi digunakan pada saluran transmisi untuk mengurangi rugi daya dalam saluran transmisi

Gardu induk merupakan sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi) tenaga listrik, atau merupakan satu kesatuan dari sistem penyaluran (transmisi). Penyaluran (transmisi) merupakan sub sistem dari sistem tenaga listrik. Berarti, gardu induk merupakan sub-sub sistem dari sistem tenaga listrik. Sebagai sub sistem dari sistem penyaluran (transmisi), gardu induk mempunyai peranan penting, dalam pengoperasiannya tidak dapat dipisahkan dari sistem penyaluran (transmisi) secara keseluruhan. Dalam pembahasan ini difokuskan pada masalah gardu induk yang pada umumnya terpasang di Indonesia, pembahasannya bersifat praktis (terapan) sesuai konstruksi yang terpasang di lapangan.

Fungsi gardu induk antara lain mentransformasikan listrik dari tegangan ekstra tinggi ke tegangan tinggi (500 kV/150 kV), dari tegangan tinggi ke tegangan yang lebih rendah (150 kV/70 kV), dari tegangan tinggi ke tegangan menengah (150 kV/20 kV, 70 kV/20 kV), dengan frekuensi tetap (di Indonesia 50 Hertz), untuk pengukuran, pengawasan operasi serta pengamanan dari sistem tenaga listrik, pengaturan pelayanan beban ke gardu induk-gardu induk lain melalui tegangan tinggi dan ke gardu distribusi-gardu distribusi, setelah melalui proses penurunan tenaga melalui penyulang-penyulang (*feeder-feeder*) tegangan menengah yang ada di gardu induk, untuk sarana telekomunikasi (pada umumnya untuk internal PLN), yang kita kenal dengan istilah SCADA.

## 2.2 Sistem Tenaga Listrik

Pada umumnya tujuan perusahaan listrik adalah menjaga kontinuitas pelayanan listrik, agar daya yang tersalurkan dapat sampai kepada pelanggan secara terus menerus tanpa terputus. Sistem tenaga listrik dimulai dari system pembangkit, transmisi, dan distribusi. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1 Single line diagram sistem tenaga listrik

Keterangan Gambar 2.1 :

- P : Pembangkit
- TM : Tegangan Menengah
- TT : Tegangan Tinggi
- TET : Tegangan Ekstra Tinggi
- GI : Gardu Induk
- GD : Gardu Distribusi

Namun di suatu sisi peralatan listrik yang ada pada sistem pembangkit, transmisi, dan distribusi tersebut akan mengalami masalah dasar seperti gangguan, pemeliharaan, dan penuaan yang mengakibatkan pergantian alat. Meskipun pemeliharaan sama dampaknya dengan gangguan dan penuaan mengakibatkan berhentinya peralatan listrik berhenti bekerja, pemeliharaan bertujuan untuk meningkatkan keandalan peralatan listrik. Oleh karena itu pemeliharaan yang terjadwal dengan baik sangat diharapkan.

Transformator merupakan komponen penting dalam sistem tenaga listrik. Gangguan pada transformator daya, mengakibatkan terputusnya aliran daya yang disalurkan oleh transformator daya, turunnya keandalan transformator daya, dan dampak yang paling terasa adalah kerugian secara ekonomi kepada perusahaan listrik. Gangguan transformator daya terbagi 2, gangguan eksternal dan gangguan internal. Transformator daya dilengkapi dengan beberapa rele proteksi yang bekerjasama dengan PMT (Pemutus Tenaga). Rele proteksi berfungsi untuk melindungi transformator daya dari gangguan eksternal maupun internal. Maka

sangat kinerja rele proteksi tersebut bekerja dengan sangat baik, agar tidak terjadi kerusakan pada transformator daya.

## 2.3 Transformator

Transformator merupakan peralatan listrik yang terdiri dari inti besi dan kumparan yang melilit inti besi tersebut.

### 2.3.1 Prinsip Dasar Transformator

Prinsip dasar transformator didasari oleh hukum *Lorenz* dan hukum *Faraday*. Ketika kumparan primer diberikan tegangan bolak balik, akan muncul arus primer pada kumparan primer. Menurut hukum *Lorenz*, jika arus mengalir melalui suatu inti besi, akan timbul medan magnet disekitar permukaan inti besi. Arus primer tadi akan membangkitkan Fluksi, fluksi merupakan jumlah garis-garis magnet yang melalui suatu inti besi. Perubahan Fluksi terjadi karena garis-garis gaya magnet yang melalui permukaan inti besi tidak selamanya tegak lurus dengan permukaan inti besi. Menurut hukum *Faraday*, jika terjadi perubahan fluksi yang melalui suatu kumparan dengan N jumlah lilitan, akan timbul GGL induksi[1].

$$e_1 = N_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (2.1)$$

$$\phi = \oint \mathbf{H} \cdot d\mathbf{l} \quad \text{si} \quad (2.2)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega \phi m \quad (2.3)$$

$$e_1 = N_1 \omega \phi m$$

Dimana :

$d\phi$  = Perubahan garis – garis gaya magnet dalam satuan weber

$dt$  = Perubahan waktu dalam detik

$e_1$  = GGL pada sisi primer

$N_1$  = Jumlah lilitan belitan primer

Nilai tegangan efektifnya ( $E_1$ ) adalah,

$$E_1 < 0^\circ = e_1/\sqrt{2} \quad (2.5)$$

$$E_1 = (N_1 \omega \phi m) / \sqrt{2} \quad (2.6)$$

$$E_1 = (N_1 2\pi \phi m) / \sqrt{2} \quad (2.7)$$

$$E_1 = (N_1 4.44 f \phi m) \quad (2.8)$$

Dimana :

$E_1$  = Tegangan yang timbul pada sisi primer

$N_1$  = Jumlah lilitan belitan primer

Fluksi yang mengalir melalui inti besi akan menginduksi kumparan sekunder dan sama halnya dengan kumparan primer akan timbul perubahan fluksi pada kumparan sekunder, sehingga timbul GGL induksi pada kumparan sekunder.

$$e_2 = N_2 \quad (2.9)$$

$$\phi = \phi m \quad (2.10)$$

$$\frac{d\phi}{dt} = \omega \phi m \quad (2.11)$$

$$e_2 = N_2 \omega \Phi m \quad c \quad (2.12)$$

Dimana :

$e_2$  = GGL pada sisi sekunder

$N_2$  = Jumlah lilitan belitan sekunder

Nilai tegangan efektifnya ( $E_2$ ) adalah,

$$E_2 < 0^\circ = e_2 / \sqrt{2} \quad (2.13)$$

$$E_2 = (N_2 \omega \Phi m \quad c \quad ) / \sqrt{2} \quad (2.14)$$

$$E_2 = (N_2 2\pi \Phi m \quad ) / \sqrt{2} \quad (2.15)$$

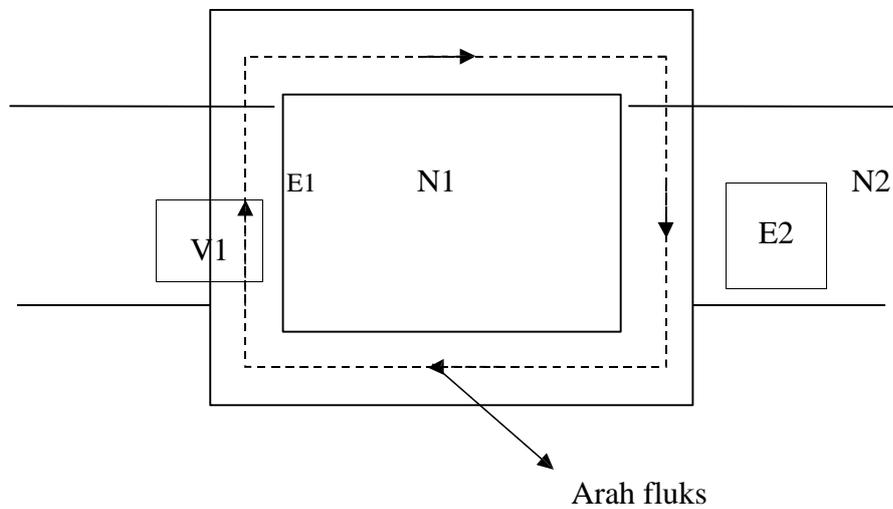
$$E_2 = (N_2 4.44 f \Phi m \quad ) \quad (2.16)$$

Perbandingan tegangan efektif primer ( $E_1$ ) dan sekunder ( $E_2$ )

menghasilkan rasio transformator ( $a$ ),

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1 4.4 f \Phi m}{N_2 4.4 f \Phi m} \quad (2.17)$$

$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.18)$$



Gambar 2.2 Rangkaian Transformator

Pada Gambar 2.2. diperlihatkan fluks yang mengalir pada inti besi.

Dimana:  $V_1$  = Tegangan pada sisi masukan (primer)

$V_2$  = Tegangan pada sisi keluaran (sekunder)

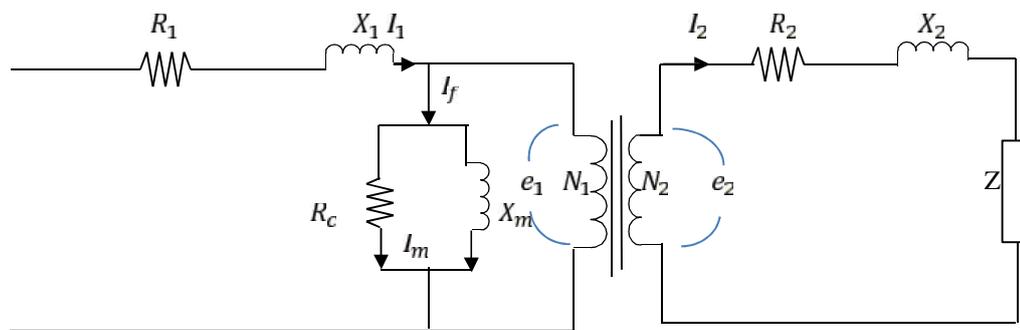
$N_1$  = Jumlah lilitan pada sisi primer

$N_2$  = Jumlah lilitan pada sisi sekunder

$e_1$  = GGL yang timbul pada sisi primer

$e_2$  = GGL yang timbul pada sisi sekunder

Sehingga rangkaian ekivalen transformator dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Rangkaian Ekivalen Transformator

Keterangan Gambar 2.3:

$V_1$  = Tegangan sumber

$R_1$  = Tahanan belitan primer

$R_2$  = Tahanan belitan sekunder

$X_1$  = Reaktansi belitan primer

$X_2$  = Reaktansi belitan sekunder

$I_1$  = Arus primer

$I_2$  = Arus sekunder

$R_c$  = Tahanan inti besi

$X_m$  = Reaktansi inti besi

$I_f$  = Harga arus yang membentuk pembentukan magnet

$I_m$  = Harga arus efektif di dalam pembentukan magnet

$e_1 =$  GGL induksi pada kumparan primer

$e_2 =$  GGL induksi pada kumparan sekunder

$N_1 =$  Jumlah lilitan pada kumparan primer

$N_2 =$  Jumlah lilitan pada kumparan sekunder

$Z =$  Beban

Dari Gambar 2.3 diatas dapat dituliskan persamaan rangkaian ekivalen transformator adalah,

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 jX_1 \quad (2.19)$$

$$E_2 = V_2 + I_2 R_2 + jX_2 \quad (2.20)$$

$$I_1 = I_1 + I_2 \quad (2.21)$$

Jika dilihat dari sisi primer,  $E_1 = a E_2$ ,  $I_2 = (N_2/N_1) I_1$

$$\frac{E_1}{a} = V_2 + I_2 R_2 + I_2 jX_2 \quad (2.22)$$

$$E_1 + aV_2 + aI_2 R_2 + aI_2 jX_2 \quad (2.23)$$

$$E_1 = aV_2 + I_2' R_2 + I_2' jX_2 \quad (2.24)$$

Dimana,  $Z_2 = a^2 R'_2$ ,  $X_2 = a^2 X'_2$

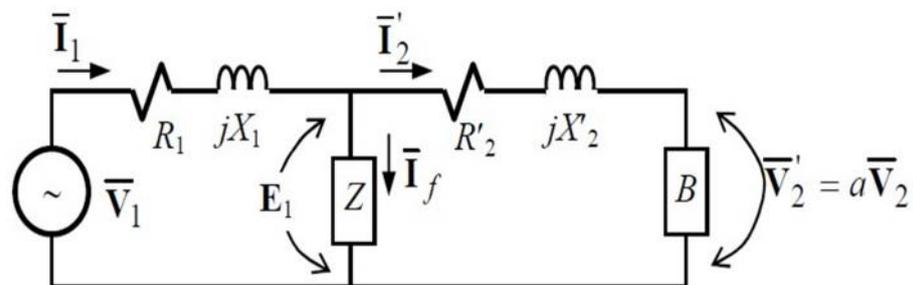
Maka diperoleh persamaan :

$$V_1 = E_1 + I_1 R_1 + I_1 jX_1 \quad (2.25)$$

$$E_1 = aV_2 + I'_2 R'_2 + I'_2 jX'_2 \quad (2.26)$$

$$I_1 = I_i + I'_2 \quad (2.27)$$

Dari persamaan diatas dapat disederhanakan rangkaian ekivalen ideal transformator yang bisa dilihat pada Gambar 2.4.



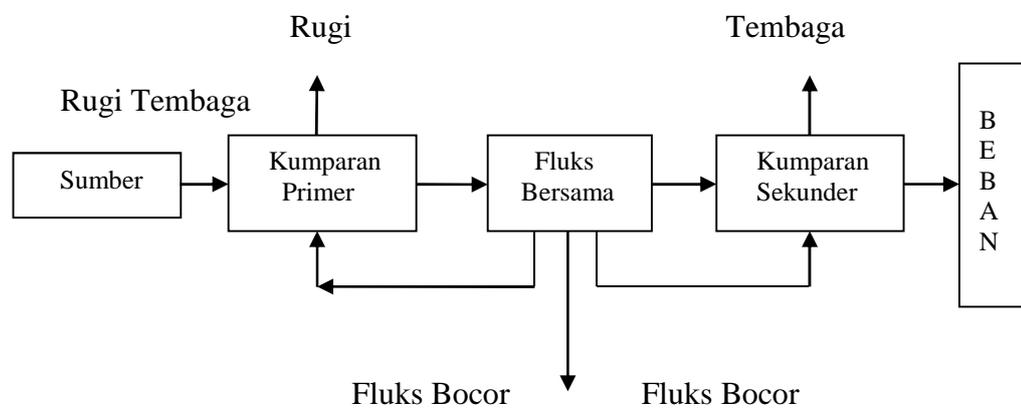
Gambar 2.4 Rangkaian Ekivalen Ideal Transformator

### 2.3.2 Rugi-Rugi Transformator

Rugi-rugi trafo yang berupa rugi inti atau rugi besi dan rugi yang terdapat pada kumparan primer dan sekunder. Untuk mengurangi rugi besi diambil inti besi yang penampangnya cukup besar agar fluks magnet mudah mengalir di dalamnya. Untuk memperkecil rugi tembaga,

diambil kawat tembaga yang luas penampangnya cukup besar untuk mengalirkan arus yang diperlukan. Rugi inti terdiri dari rugi arus Eddy dan rugi *Hysteresis*. Rugi arus Eddy timbul akibat adanya arus pusar inti yang dapat menghasilkan panas. Adapun arus pusar inti ditentukan oleh tegangan induksi pada inti pada inti yang menghasilkan perubahan – perubahan fluks magnet. Rugi *Hysteresis* merupakan rugi tenaga yang disebabkan oleh fluks magnet bolak balik[1].

Proses rugi-rugi yang terjadi pada transformator terlihat pada Gambar 2.5. Rugi-rugi terjadi akibat kebocoran fluks yang terjadi sehingga menghasilkan rugi-rugi inti pada transformator. Rugi-rugi tembaga timbul akibat dari kumparan primer dan kumparan sekunder pada transformator.



$$\text{Rugi Inti} = \text{Hysteresis} + \text{Arus Eddy}$$

Gambar 2.5. Proses timbulnya rugi-rugi inti dan rugi-rugi tembaga.

1. Rugi tembaga ( $P_{Cu}$ )

Rugi-rugi tembaga merupakan rugi-rugi yang disebabkan oleh arus beban yang mengalir pada kawat tembaga.

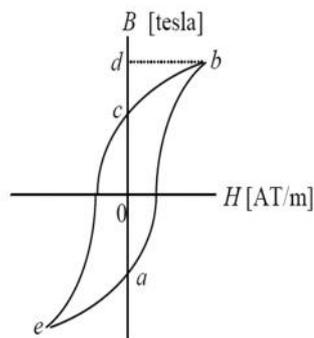
$$P_C = I_P^2 \cdot R_P \quad (2.28)$$

2. Rugi Inti ( $P_m$ )

Rugi besi terdiri dari rugi Histerisis dan rugi Eddy

a. Rugi Histerisis

Material ferromagnetik sering dibebani dengan medan magnet yang berubah secara periodik dengan batas positif dan negatif yang sama. Pada pembebanan seperti ini terdapat kecenderungan bahwa kerapatan fluksi ( $B$ ), ketinggalan dari medan magnetnya ( $H$ ). Kecenderungan ini kita sebut histerisis dan kurva B-H membentuk loop tertutup seperti terlihat pada Gambar 2.6.



Gambar 2.6 Kurva Histerisis

Loop histerisis ini menunjukkan bahwa untuk satu nilai H tertentu terdapat dua kemungkinan nilai B. luas bidang abda pada Gambar 2.6 menyatakan kerapatan energi, yaitu energi magnetik. Karena luas abda diperoleh dari integrasi HdB pada waktu H dan B naik, atau dengan kata lain medan magnetic bertambah, maka ia menggambarkan kerapatan energi yang disimpan ke material. Luas bidang bdcb yang diperoleh dari integrasi HdB pada waktu medan magnit berkurang, menggambarkan kerapatan energi yang dilepaskan. Dari gambar loop histerisis jelas terlihat bahwa luas bdcb < luas abda. Ini berarti bahwa kerapatan energi yang dilepaskan lebih kecil dari kerapatan energi yang disimpan. Sisa energi yang tidak dapat dilepaskan digambarkan oleh luas bidang abca, dan ini merupakan energi yang diserap oleh material dan tidak keluar lagi (tidak termanfaatkan) sehingga disebut rugi energi histerisis[1].

Analisis di atas hanya memperhatikan setengah siklus saja. Untuk satu siklus penuh, kerapatan rugi energi histerisis adalah luas bidang dari loop histerisis. Jika kerapatan rugi energi histerisis per siklus = luas loop histerisis, kita sebut  $w_h$ , dan jumlah siklus per detik (frekuensi) adalah  $f$ , maka untuk material dengan volume  $v$  m<sup>3</sup> besar rugi energi histerisis per detik atau rugi daya histerisis adalah

$$P_h = w_h f v \quad (2.29)$$

Untuk menghindari perhitungan luas loop histerisis, Steinmetz memberikan formula empiris untuk rugi daya histerisis sebagai

$$Ph = f (Kh B_m^n) \quad (2.30)$$

Dimana:  $Ph$  = Rugi Histerisis (watt)

$Wh$  = luas loop histerisis

$f$  = Frekuensi (Hz)

$v$  = Volume Material ( $m^3$ )

$B_m$  = Nilai maksimum kerapatan flusi

$n$  = 1,5 – 2,5 (tergantung jenis material)

$Kh$  = Konstanta

$Kh$  adalah konstanta yang juga tergantung dari jenis material; untuk cast steel 0,025; silicon sheet steel 0,001; permalloy 0,0001.

#### b. Rugi Arus Putar

Jika medan magnetik berubah terhadap waktu, selain rugi daya histerisis terdapat pula rugi daya yang disebut rugi arus pusar. Arus pusar timbul sebagai reaksi terhadap perubahan medan magnet. Jika material berbentuk balok pejal, resistansi material menjadi kecil dan rugi arus pusar menjadi besar. Untuk memperbesar resistansi agar arus pusar kecil, rangkaian magnetik disusun dari lembar-lembar material magnetik yang tipis (antara 0,3 ÷ 0,6 mm). Formula empiris untuk rugi arus pusar adalah

$$P = Kh B^2 f^2 \tau^2 v \quad (2.31)$$

Dimana :

- Ke = Konstanta Yang Tergantung Dari Jenis Material
- F = Frekuensi (Hz)
- Bm = Kerapatan Fluksi Maksimum
- = Tebal Laminasi (mm)
- v = Volume Material ( $m^3$ )

Perhatikan bahwa rugi arus pusar sebanding dengan pangkat dua dari frekuensi, sedangkan rugi histerisis sebanding dengan pangkat satu frekuensi. Rugi histerisis dan rugi arus pusar secara bersama-sama disebut rugi-rugi inti. Rugi-rugi inti akan menaikkan temperature rangkaian magnetik dan akan menurunkan efisiensi peralatan[1].

Formula untuk Rugi-Rugi Inti ( $P_m$ ) adalah

$$P_m = P_h + P_e \quad (2.32)$$

Untuk mencari besarnya efisiensi pada trafo dapat kita lihat pada persamaan berikut ini:

$$\eta = \frac{D}{D} \frac{k}{m} = \frac{D}{D + \sum R} \frac{k}{-r} = 1 - \frac{\sum R}{D} \frac{-r}{m} \quad (2.33)$$

$D_i$  :

$$\sum R \quad -r = P_C + P_{i_i} \quad (2.34)$$

## 2.4 Transformator 3 Fasa

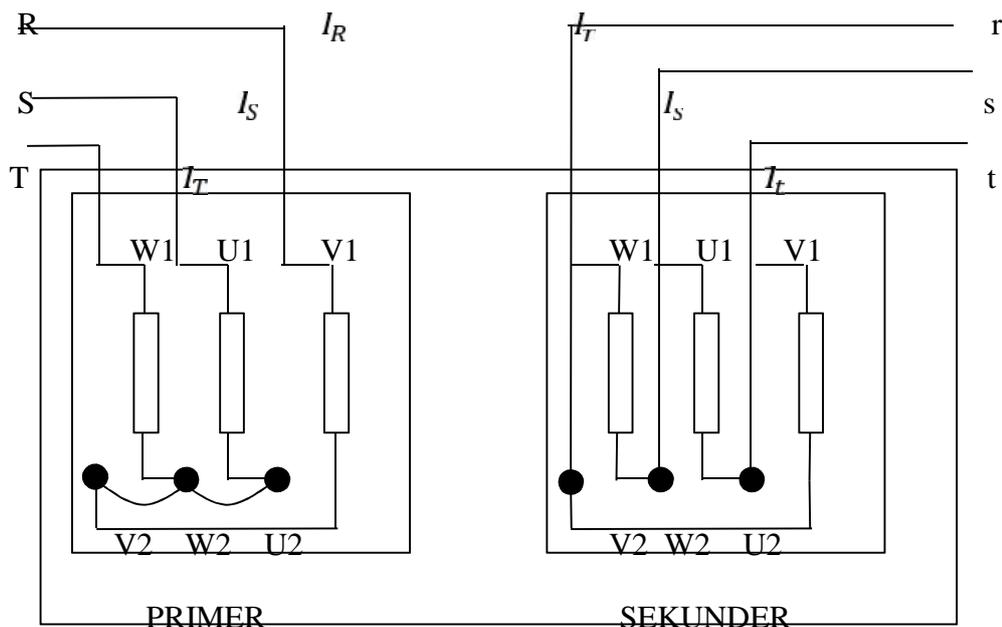
Transformator 3 fasa merupakan 3 transformator 1 fasa yang dirangkai khusus. Ada empat cara merangkai belitan primer dan sekunder pada trafo 3 fasa untuk memindahkan energi dari sistem tiga fasa ke sistem 3 fasa yang lain, diantaranya adalah sebagai berikut[1].

1. Hubungan Y -

Jika tegangan jaringan adalah  $V_1$  dan  $V_2$  maka besar tegangan kawat ke kawat primer sama dengan  $\sqrt{3}$  tegangan fasa primer ( $V_{LP} = \sqrt{3} V_{\phi P}$ ), sedangkan tegangan kawat ke kawat sekundernya sama dengan tegangan fasa sekundernya ( $V_{LS} = V_{\phi S}$ ), maka

$$\frac{V}{V} = \frac{\sqrt{3} V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a \quad (2.35)$$

Hubungan tegangan jaringan dengan tegangan kumparan transformator hubungan Y - dapat dilihat pada Gambar 2.7.



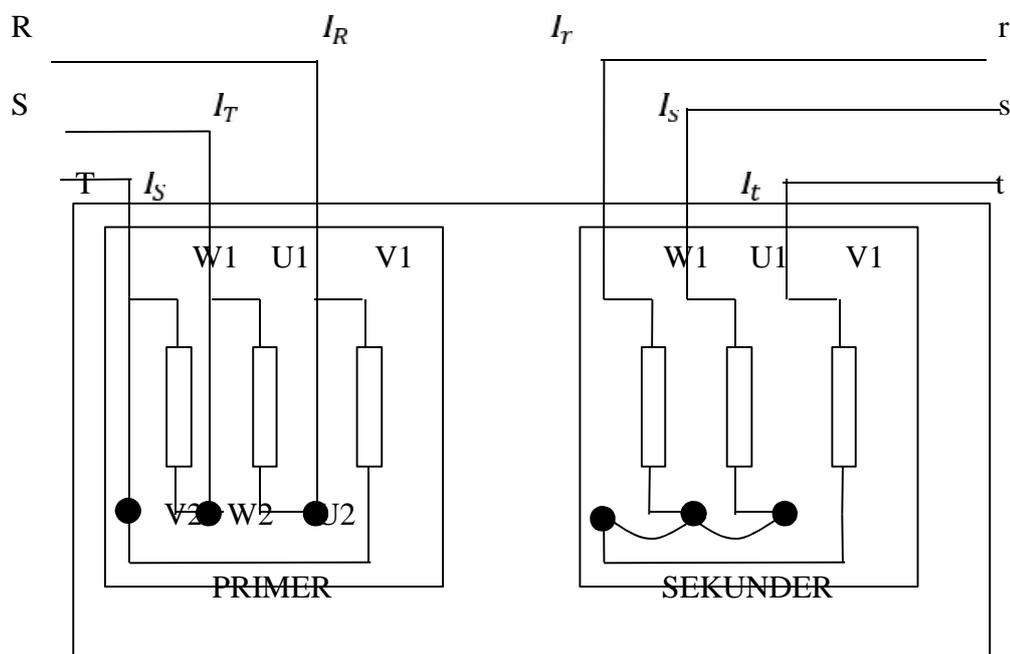
Gambar 2.7. Trafo hubungan Y -

2. Hubungan - Y

Jika tegangan jaringan adalah  $V_1$  dan  $V_2$ , maka tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ( $V_{LP} = V_{\phi P}$ ), tegangan kawat ke kawat sekunder sama dengan  $\sqrt{3}$  tegangan fasa sekunder ( $V_{LS} = \sqrt{3} V_{\phi S}$ ) maka

$$\frac{V}{V} = \frac{V\phi P}{\sqrt{3}V\phi S} = \frac{a}{\sqrt{3}} \quad (2.36)$$

Hubungan tegangan jaringan dengan tegangan kumparan transformator hubungan -Y dapat dilihat pada Gambar 2.8.



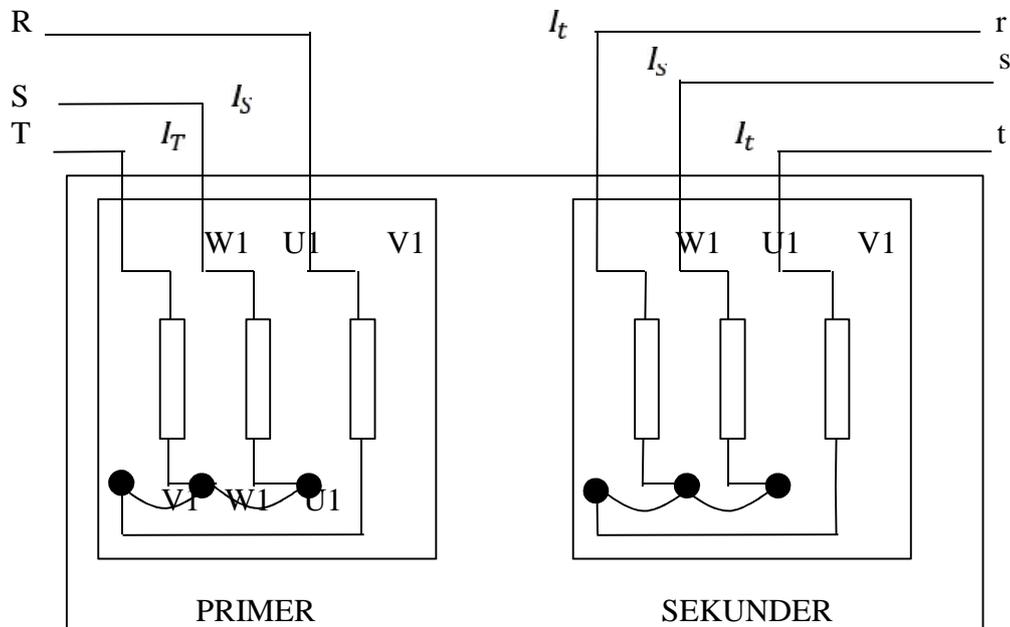
Gambar 2.8. Trafo hubungan - Y

### 3. Hubungan Y – Y

Jika tegangan jaringan adalah  $V_1$  dan  $V_2$ , maka tegangan kawat ke kawat primer sama dengan  $\sqrt{3}$  tegangan fasa primer ( $V_{LP} = \sqrt{3}V_S$ ), maka

$$\frac{V}{V} = \frac{\sqrt{3}V\phi P}{\sqrt{3}V\phi S} = a \quad (2.37)$$

Hubungan tegangan jaringan dengan tegangan kumparan transformator hubungan Y - Y dapat dilihat pada Gambar 2.9



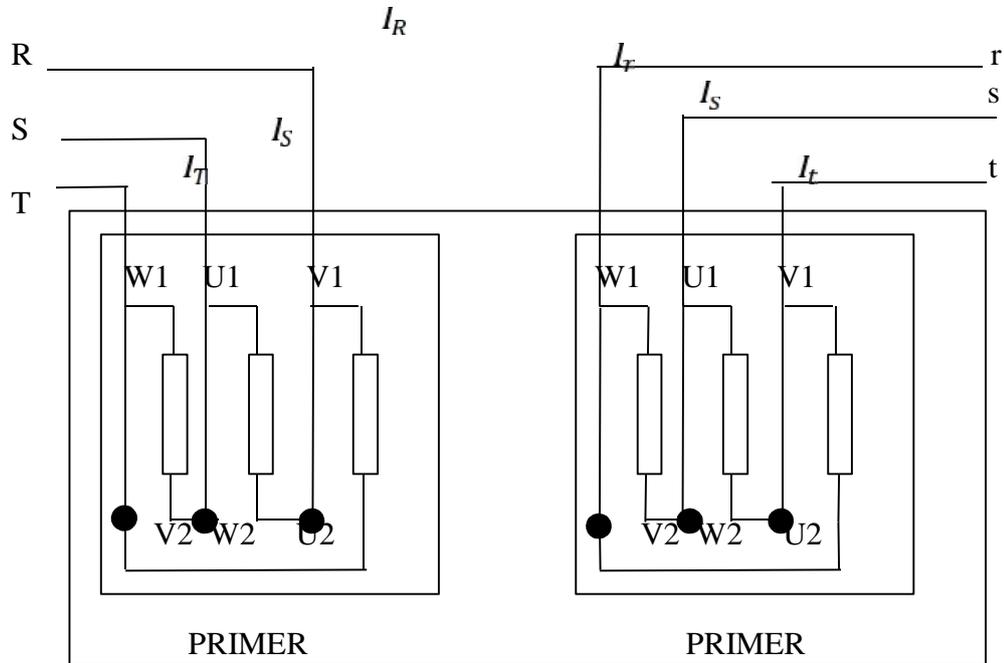
Gambar 2.9. Trafo hubungan Y – Y.

#### 4. Hubungan -

Jika tegangan jaringan adalah  $V_1$  dan  $V_2$  maka besar tegangan kawat ke kawat primer sama dengan tegangan fasa primer ( $V_{LP} = V_{\phi P}$ ), sedangkan tegangan kawat ke kawat sekundernya sama dengan tegangan fasa sekundernya ( $V_{LS} = V_{\phi S}$ ), maka

$$\frac{V}{V} = \frac{V_{\phi P}}{V_{\phi S}} = a \quad (2.38)$$

Hubungan tegangan jaringan dengan tegangan kumparan transformator hubungan - dapat dilihat pada Gambar 2.10



Gambar 2.10. Trafo hubungan - .

## 2.5 Pengertian Dan Fungsi Transformator Daya

Transformator daya atau adalah suatu peralatan tenaga listrik yang berfungsi untuk menyalurkan tenaga/daya listrik dari tegangan tinggi ke tegangan rendah atau sebaliknya. Dalam operasi penyaluran tenaga listrik transformator dapat dikatakan sebagai jantung dari transmisi dan distribusi. Dalam kondisi ini suatu transformator diharapkan dapat beroperasi secara maksimal, kalau bisa terus menerus tanpa berhenti[3].



Gambar 2.11. Transformator daya

Transformator daya atau tenaga dapat di klasifikasikan menurut sistem pemasangan dan fungsi pemakaiannya. Berdasarkan pemasangannya transformator daya terdiri dari transformator daya pemasangan dalam dan pemasangan luar. Berdasarkan Fungsi dan pemakaian, transformator daya terdiri dari, transformator mesin (untuk mesin-mesin listrik), transformator Gardu Induk dan transformator Distribusi.

## **2.6 Komponen Transformator Daya**

Transformator daya terdiri dari beberapa 2 bagian, peralatan utama dan peralatan bantu.

### **2.6.1 Bagian Utama Transformator Daya**

Bagian utama transformator daya atau tenaga terdiri dari 5 bagian yaitu [3]

### 1. Inti trafo

Inti trafo mempermudah jalannya fluksi, yang ditimbulkan oleh arus listrik yang mengalir pada kumparan. Inti dari transformator ini terbuat dari bilah besi tipis yang berisolasi, yang berguna untuk mengurangi panas yang ditimbulkan oleh rugi-rugi besi karena adanya arus pusar atau arus eddy. Inti besi yang terbuat dari plat-plat disebut juga dengan bilik-bilik trafo. Tebal dari bilik-bilik ini berkisar antara 0,3 dan 1,5 mm di mana inti ini disusun antara satu dan lainnya merupakan kesatuan yang tebal

### 2. Kumparan

Kumparan dari transformator terdiri dari tembaga serta dilapisi isolasi seperti karton yang dibelitkan disepulur kaki inti transformator. Umumnya transformator terdapat kumparan primer dan kumparan sekunder.

### 3. Minyak transformator

Minyak transformator sangat diperlukan sebagai pendingin, karena transformator daya bekerja untuk tegangan tinggi. Inti belitan pada transformator seluruhnya dimasukkan dalam bak yang berisi minyak tersebut. Minyak transformator ini berfungsi ganda selain berfungsi pendingin juga berfungsi sebagai isolasi.

Minyak transformator harus memenuhi persyaratan, yaitu:

- a. Kekuatan isolasi tinggi
- b. Penyalur panas yang baik.
- c. Berat jenis yang kecil sehingga partikel-partikel dalam minyak dapat mengendap dengan cepat.

- d. Viskositas yang rendah, agar lebih mudah bersirkulasi dan memiliki kemampuan pendinginan menjadi lebih baik
- e. Titik nyala yang tinggi dan tidak mudah menguap.

#### 4. Bushing

Bushing berfungsi sebagai penghubungan antara kumparan transformator ke jaringan luar melalui sebuah konduktor yang terselubungi oleh isolator, yang sekaligus berfungsi sebagai penyekat antar konduktor tersebut dengan tangki. Bushing ini terbuat dari porselin.

#### 5. Tangki dan Konservator

Pada umumnya bagian-bagian transformator yang terendam dalam minyak berada didalam tangki. Tangki ini terbuat dari *mild stell plate* yang kuat untuk menahan tekanan kerja minyak transformator. Sedangkan untuk menampung pemuaiian minyak transformator dilengkapi dengan konservator.

### 2.6.2 Peralatan Bantu Transformator Daya

Peralatan bantu transformator daya atau tenaga terdiri dari 4 yaitu [3]:

#### 1. Pendingin

Pada inti besi dan kumparan-kumparan akan timbul panas yang diakibatkan oleh rugi-rugi besi dan tembaga. Apabila panas tersebut mengakibatkan kenaikan suhu yang berlebihan, akan merusak isolasi di dalam transformator, maka untuk mengurangi kenaikan suhu yang berlebihan ini perlu adanya alat atau sistem pendingin untuk memindahkan panas keluar dari transformator. Media yang dipakai sebagai pendinginnya dapat berupa udara/gas,

minyak, air. Sedangkan pengalirannya (sirkulasi) dapat dengan cara Alamiah (natural) dan tekanan/ paksaan.

Pada cara alamiah (natural), adanya perbedaan suhu media dan untuk mempercepat perpindahan panas dari media tersebut ke udara luar diperlukan bidang perpindahan panas yang lebih luas antara media (minyak-udara/gas), dengan cara melengkapi transformator dengan sirip-sirip (radiator). Jika dikehendaki/diinginkan penyaluran panas yang lebih cepat lagi, cara natural atau alamiah tersebut dapat dilengkapi dengan peralatan untuk mempercepat sirkulasi media pendingin dengan pompa-pompa sirkulasi minyak, udara dan air. Cara ini disebut dengan pendingin paksa. Macam-macam sistim pendingin transformator berdasarkan media dan cara pengalirannya dapat diklasifikasikan seperti yang tertera pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Pendingin Transformator Daya

No	SISTEM PENDINGINAN	MEDIA			
		Sirkulasi Di Dalam Trafo		Sirkulasi Di Luar Trafo	
		Alamiah	Paksa	Alamiah	Paksa
1	AN	-	-	Udara	-
2	AF	-	-	-	Udara
3	ONAN	Minyak	-	Udara	-
4	ONAF	Minyak	-	-	Udara
5	OFAN	-	Minyak	Udara	-
6	OFAF	-	Minyak	-	Udara
7	OFWF	-	Minyak	-	Air
8	ONAN/ONAF	Kombinasi 3 dan 4			
9	ONAN/OFAN	Kombinasi 3 dan 5			
10	ONAN/OFAF	Kombinasi 3 dan 6			
11	ONAN/OFWF	Kombinasi 3 dan 7			

## 2. Tap Changer

*Tap changer* adalah alat pengubah perbandingan transformator untuk mendapatkan tegangan operasi sekunder yang lebih baik (diinginkan) dari tegangan jaringan atau primer yang berubah-ubah. *Tap changer* yang hanya dapat beroperasi untuk memindahkan transformator dalam keadaan tidak berbeban disebut dengan *Off Load Tap changer* dan hanya dapat beroperasi manual. Sedangkan tap changer yang dapat beroperasi pada saat transformator terbebani adalah On Load Tap Changer dan dapat dioperasikan secara manual dan otomatis.

## 3. Indikator-Indikator

Untuk mengawasi transformator pada saat beroperasi maka perlu adanya indikator-indikator seperti:

- a. Indikator suhu minyak yang berfungsi untuk mengetahui keadaan dari suhu minyak itu sendiri.
- b. Indikator permukaan minyak yang berfungsi untuk melihat jumlah dari minyak yang berada di dalam tangki.
- c. Indikator kedudukan tap yang berfungsi untuk melihat posisi tegangan transformator bekerja.

## 4. Alat Pernafasan

Karena pengaruh naik turunnya beban transformator maupun suhu udara luar, maka suhu minyakpun akan berubah-ubah mengikuti keadaan tersebut. Bila suhu minyak tinggi, minyak akan memuai dan mendesak udara di atas permukaan minyak keluar dari dalam tangki,

sebaliknya apabila suhu minyak turun, minyak menyusut maka udara luar akan masuk kedalam tangki. Kedua proses di atas disebut pernafasan transformator. Akibat pernafasan transformator tersebut maka permukaan minyak akan selalu bersinggungan dengan udara luar. Udara luar yang lembab akan menurunkan nilai tegangan tembus minyak transformator, maka untuk mencegah hal tersebut, maka pada ujung pipa penghubung udara luar dilengkapi dengan alat pernafasan berupa tabung berisi kristal zat *hygroskopis*.

## **2.7 Proteksi Transformator Daya**

Transformator daya dilengkapi oleh sistem proteksi untuk melindungi transformator daya tersebut dari kerusakan yang disebabkan oleh gangguan.

### **2.7.1 Sistem Proteksi**

Sistem proteksi adalah suatu sistem pengamanan terhadap peralatan listrik, yang diakibatkan adanya gangguan teknis, gangguan alam, kesalahan operasi, dan penyebab yang lainnya. Fungsi Proteksi adalah memisahkan bagian sistem yang terganggu sehingga bagian sistem lainnya dapat terus beroperasi dengan cara sebagai berikut[8] :

1. Mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya pada bagian sistem yang diamankannya (*Fault Detection*).
2. Melepaskan bagian sistem yang terganggu (*Fault Clearing*).
3. Memberitahu operator adanya gangguan dan lokasinya (*Annunciation*)

## Peralatan Sistem Proteksi

1. Pengaman-lebur (*fuse*) adalah contoh alat pengaman yang paling sederhana yang jika dipilih dengan tepat dapat memenuhi fungsi tersebut. Untuk pengamanan bagian sistem yang lebih penting, digunakan sistem proteksi yang terdiri dari seperangkat peralatan proteksi yang komponen-komponen terpentingnya adalah :
2. Rele Proteksi : sebagai elemen perasa yang mendeteksi adanya gangguan atau keadaan abnormal lainnya (*fault detection*).
3. Pemutus Tenaga (PMT) : sebagai pemutus arus gangguan di dalam sirkit tenaga untuk melepaskan bagian sistem yang terganggu. Dengan perkataan lain “membebaskan sistem dari gangguan” (*fault clearing*). PMT menerima perintah (sinyal trip ) dari relay proteksi untuk membuka. Adapun jenis-jenis dari PMT harus disesuaikan dengan kondisi dan jumlah beban (arus dan tegangan) yang melaluinya, jenis PMT terbagi menjadi :

1. Low Voltage

Untuk jenis PMT tegangan rendah, kita tentunya sering menemukan jenis ini pada panel pembagi beban (Besaran yang efektif berkisar 15 A s/d 1500 A). Yang harus diperhatikan dalam jenis PMT ini adalah Tegangan efektif tertinggi dan frekuensi daya jaringan dimana pemutus daya akan dipasang. Nilainya tergantung pada jenis pentanahan titik netral sistem. Dan juga arus maksimum kontinyu yang akan dialirkan melalui pemutus daya, dan nilai arus ini tergantung

pada arus maksimum sumber daya atau arus nominal beban dimana pemutus daya tersebut terpasang.

## 2. High Voltage

Klasifikasi PMT untuk tegangan tinggi berdasarkan media insulator dan material dielektriknya, adalah terbagi menjadi empat jenis, yaitu:

### a. Sakelar PMT Minyak:

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk pemutus arus sampai 10 kA dan pada rangkaian bertegangan 500 kV.

### b. Sakelar PMT Udara Hembus (Air Blast Circuit Breaker):

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.

### c. Sakelar PMT Vakum (Vacuum Circuit Breaker):

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus rangkaian bertegangan sampai 38 kV.

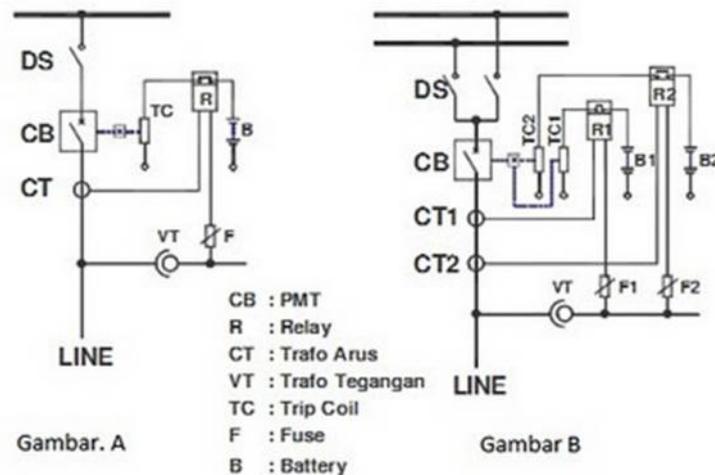
### d. Sakelar PMT Gas SF6 (SF6 Circuit Breaker):

Sakelar PMT ini dapat digunakan untuk memutus arus sampai 40 kA dan pada rangkaian bertegangan sampai 765 kV.

4. Trafo Arus dan/atau Trafo Tegangan : untuk meneruskan arus dan/atau tegangan dengan perbandingan tertentu dari sirkit primer (sirkit tenaga ) ke sirkit sekunder (sirkit rele) dan memisahkan sirkit sekunder dari sirkit primernya.

5. Battery (aki) : sebagai sumber tenaga untuk mengetrip PMT dan catu daya untuk relay (rele digital/ rele statik ) dan relay bantu (*auxiliary relay* ).

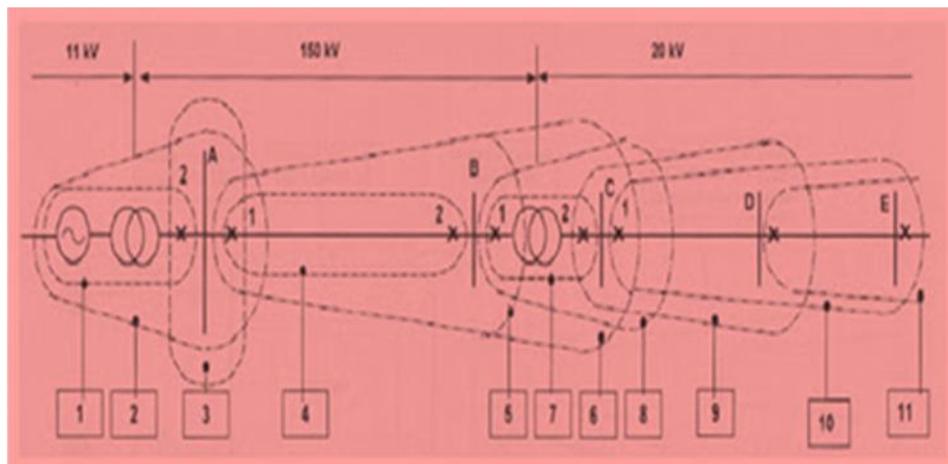
Hubungan antara komponen-komponen proteksi sebagai suatu sistem proteksi yang sederhana dapat dilihat pada Gambar 2.12A untuk sistem tegangan menengah (TM) atau tegangan tinggi (TT), dan Gambar 2.12 untuk sistem tegangan ekstra tinggi (TET) yang menggunakan proteksi *doubel (duplicate)*.



Gambar 2.12. Koordinasi Sistem proteksi

### 2.7.2 Pembagian Daerah Proteksi

Suatu sistem tenaga listrik dibagi kedalam seksi-seksi yang dibatasi oleh PMT (Pemutus Tenaga). Tiap seksi memiliki relay pengaman dan memiliki daerah pengamanan (Zone of Protection). Bila terjadi gangguan, maka relay akan bekerja mendeteksi gangguan dan PMT akan trip. Gambar dibawah ini akan menjelaskan tentang konsep pembagian daerah proteksi[8]. Pembagian proteksi sistem kelistrikan dapat dilihat pada Gambar 2.13.



Gambar 2.13. Pembagian Daerah Proteksi Sitem Tenaga listrik

Keterangan Gambar 2.13:

1. *Overall Diifferential Relay*

Pengaman utama Generator – Trafo

2. *Over Current Relay*

Pengaman cadangan lokal Generator – Trafo. Pengaman cadangan jauh Bus A

3. Pengaman Bus

Pengaman utama Bus A

4. *Distance Relay Zone I* dan PLC di A1

Pengaman utama saluran A-B

5. *Distance Relay Zone II* di A1

Pengaman utama Bus B. Pengaman cadangan jauh sebagian Trafo di B

6. *Distance Relay Zone III* di A1

Pengaman cadangan jauh Trafo di B sampai ke Bus C

### 7. *Differential Relay*

Pengaman utama Trafo

### 8. *Over Current Relay* di sisi 150 KV

Pengaman cadangan lokal Trafo. Pengaman cadangan jauh Bus C

### 9. *Over Current Relay* di sisi 20 KV

Pengaman utama Bus C. Pengaman cadangan jauh saluran C-D

### 10. *Over Current Relay* di C1

Pengaman utama saluran C-D. Pengaman cadangan jauh saluran D-E

### 11. *Over Current Relay* di D

Pengaman utama saluran D-E. Pengaman cadangan jauh seksi berikutnya.

Pada gambar 2.13 dapat dilihat bahwa daerah proteksi pada sistem tenaga listrik dibuat bertingkat dimulai dari pembangkitan, gardu induk, saluran distribusi primer sampai ke beban. Garis putus-putus menunjukkan pembagian sistem tenaga listrik ke dalam beberapa daerah proteksi. Masing-masing daerah memiliki satu atau beberapa komponen sistem daya disamping dua buah pemutus rangkaian. Setiap pemutus dimasukkan ke dalam dua daerah proteksi berdekatan. Batas setiap daerah menunjukkan bagian system yang bertanggung jawab untuk memisahkan gangguan yang terjadi di daerah tersebut dengan sistem lainnya. Aspek penting lain yang harus diperhatikan dalam pembagian daerah proteksi adalah bahwa daerah yang saling berdekatan harus saling tumpang tindih (*overlap*), hal ini dimaksudkan agar tidak ada sistem yang dibiarkan tanpa perlindungan. Pembagian daerah proteksi ini bertujuan agar daerah yang tidak

mengalami gangguan tetap dapat beroperasi dengan baik sehingga dapat mengurangi daerah pemadaman[8].

### **2.7.3 Pengelompokan Sistem Proteksi**

Berdasarkan daerah pengamanannya sistem proteksi dibedakan menjadi 4 bagian yaitu[8] :

1. Proteksi pada Generator
2. Proteksi pada Transformator
3. Proteksi pada Transmisi
4. Proteksi pada Distribusi

### **2.7.4 Pembagian Tugas Dalam Sistem Proteksi**

Dalam sistem proteksi pembagian tugas dapat diuraikan menjadi 3 bagian proteksi yaitu [8] :

1. Proteksi utama, berfungsi untuk mempertinggi keandalan, kecepatan kerja, dan fleksibilitas sistem proteksi dalam melakukan proteksi terhadap sistem tenaga.
2. Proteksi pengganti, berfungsi jika proteksi utama menghadapi kerusakan atau kegagalan untuk mengatasi gangguan yang terjadi.
3. Proteksi tambahan, untuk pemakaian pada waktu tertentu, berfungsi sebagai pembantu proteksi utama pada daerah tertentu yang dibutuhkan.

### 2.7.5 Rele Proteksi Transformator Daya

Transformator daya dilindungi oleh beberapa rele proteksi, yaitu :

#### 1. Rele Bucholtz

Rele ini berfungsi untuk mendeteksi adanya gas yang ditimbulkan oleh loncatan (bunga) api dan pemanasan setempat dalam minyak transformator. Penggunaan rele deteksi gas (Bucholtz) pada Transformator terendam minyak yaitu untuk mengamankan transformator yang didasarkan pada gangguan Transformator seperti : arcing, partial discharge, over heating yang umumnya menghasilkan gas. Gas-gas tersebut dikumpulkan pada ruangan rele dan akan mengerjakan kontak-kontak alarm.

Rele deteksi gas juga terdiri dari suatu peralatan yang tanggap terhadap ketidaknormalan aliran minyak yang tinggi yang timbul pada waktu transformator terjadi gangguan serius. Peralatan ini akan menggerakkan kontak trip yang pada umumnya terhubung dengan rangkaian trip Pemutus Arus dari instalasi transformator tersebut.

#### 2. Rele arus lebih (*Over current Relay*)

Rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap gangguan singkat antar fasa didalam maupun diluar daerah pengaman transformator. Rele ini diharapkan mempunyai sifat komplementer dengan Rele beban lebih.

#### 3. Rele Beban Lebih (*Over Load Relay*)

Rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator terhadap beban yang berlebihan yang pada tahap pertama membunyikan alarm dan pada tahap berikutnya mentrip PMT.

#### 4. Rele hubung tanah (*Ground Fault Relay*)

Rele ini berfungsi untuk mengamankan transformator dari gangguan hubung tanah, di dalam dan di luar daerah transformator.

#### 5. Rele thermis (*Thermal Relay*)

Rele ini adalah Rele mekanis yang berfungsi mendeteksi suhu minyak dan kumparan, dan akan membunyikan alarm. Rele suhu ini dipasang pada semua transformator daya.

#### 6. Rele Jansen

Rele ini berfungsi untuk mengamankan pengubah *tap* (*tap changer*) dari transformator.

## 2.8 Kegagalan Sistem Atau Komponen

Kegagalan (*failure*) muncul ketika sebuah sistem atau komponen berhenti melakukan fungsi atau kerja yang diberikan padanya. Karakteristik Kegagalan sistem atau komponen dapat dilihat dari kurva Bath Up (Bak mandi).

### 2.8.1 Kurva Bak Mandi

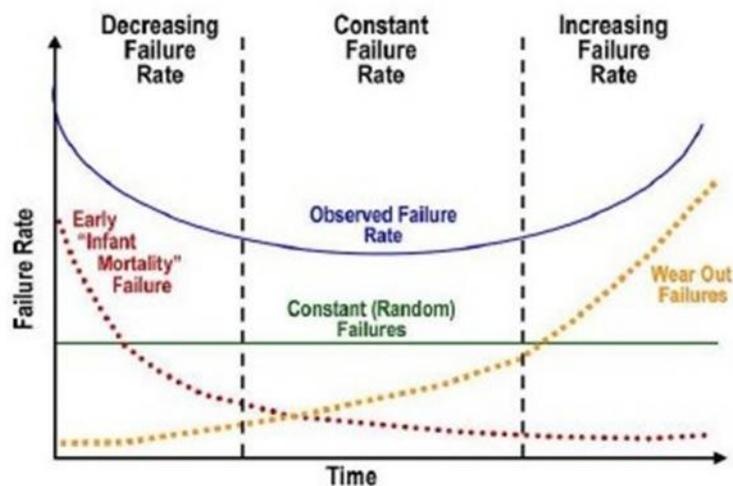
Kurva Bath-Up (Kurva Bak Mandi) biasa digunakan dalam *reliability engineering* (teknik kehandalan). *Reliability* dapat dipandang sebagai suatu peluang suatu sistem/produk bekerja sesuai dengan fungsi pada suatu percobaan atau tetap berfungsi hingga suatu rentangwaktu tertentu. Kurva ini menggambarkan keterangan bentuk dari fungsi kegagalan dengan cara membandingkan bagian-bagian berikut[7]:

1. Bagian pertama adalah penurunan *failure rate*. Rating kegagalan atau *failure rate* pada gambar dipetakan oleh kurva yang berwarna merah.

2. Bagian kedua adalah konstan *failure rate* atau *random failure*. Pada gambar dipetakan oleh kurva yang berwarna hijau.

3. Bagian ketiga adalah peningkatan *failure rate* atau kegagalan diluar pemakaian (*wear-out failure*) pada gambar dipetakan oleh kurva yang berwarna kuning.

Kurva Bath Up dihasilkan dengan memetakan tingkat kegagalan dini (*early infant mortality failures*) ketika sebuah produk diperkenalkan, tingkat kegagalan acak (*random failures*) selama usia penggunaan produk, dan akhirnya tingkat kegagalan setelah produk sudah tidak digunakan lagi (*wear out failure*) dimana produk tersebut sudah melebihi *lifetime* yang telah didesain untuk jangka waktu tertentu. Hasil pemetaan ketiga bagian ini akan menghasilkan kurva *Observed Failure Rate* yang berwarna biru. Kurva bak mandi bisa dilihat pada Gambar 2.14.



Gambar 2.14. Kurva bak mandi

Pada umumnya laju kerusakan komponen berubah-ubah sejalan dengan pertambahan waktu. *Increasing Failure Rate* (IFR) adalah keadaan dimana laju kerusakan meningkat sejalan dengan bertambahnya waktu, sedangkan *Decreasing Failure Time* (DFR) adalah keadaan dimana kerusakan menurun sejalan dengan bertambahnya waktu. Bilamana beberapa unit produk diamati fungsinya pada suatu waktu bersamaan dan setiap unit yang gagal dicatat, maka laju kegagalan (*failure rate*) akan membentuk pola seperti bak mandi, yang disebut dengan kurva *Bath-Up*. Dari Gambar 2.14 dapat dijelaskan :

#### 1. Masa awal

Masa awal dari suatu komponen atau sistem (*early stage*) ditandai dengan tingginya kegagalan yang berangsur-angsur turun seiring dengan bertambahnya waktu. Periode ini pada umumnya terjadi pada alat-alat yang baru diproduksi oleh pabrik, yang pada awalnya memiliki suatu tingkat kerusakan tertentu (tidak nol). Laju kegagalan awal disebabkan oleh material maupun kesalahan pembuatan alat dan komponen.

#### 2. Masa berguna ( *expected normal life* atau *mid-life time*)

Laju kegagalan komponen atau sistem cenderung konstan. Kerusakan yang terjadi pada periode ini tidak dapat diramalkan sebelumnya atau berupa kerusakan mendadak (diluar kebiasaan).

#### 3. Masa aus ( *wear out region* atau *end of life*)

Masa aus ditandai dengan laju kegagalan yang cenderung naik seiring dengan bertambahnya waktu.

### 2.8.2 Klasifikasi Kegagalan

Kegagalan dapat di klasifikasikan berdasarkan [3]:

#### 1. Jenis

Jenis kegagalan bisa dilihat dari pengaruh lokal ketika kegagalan terjadi.

Contoh: rangkaian terbuka, *short circuit*, dll.

#### 2. Penyebab

Penyebab dari kegagalan bisa jadi kegagalan *intrinsik* yang ditunjukkan oleh ketidak mampuan atau sudah tidak terpakainya lagi sebuah sistem atau komponen, dan juga *ekstrinsik* yang ditunjukkan oleh *error*, salah penggunaan ketika perancangan, produksi dari sistem atau komponen tersebut.

#### 3. Efek

Efek atau konsekuensi dari kegagalan dapat berbeda pada sistem atau komponen. Pembagian umumnya adalah : sebagian (*partial*), lengkap (*complete*), kritis (*critical failure*).

#### 4. Mekanisme

Kegagalan mekanisme adalah kegagalan fisik, kimia atau proses lainnya yang berakhir dengan kegagalan.

Kegagalan juga dapat diklasifikasikan sebagai kegagalan yang mendadak dan kegagalan yang perlahan. Sebagaimana kegagalan tidak hanya penyebab dari sebuah barang mengalami kemerosotan, sebuah bentuk lain yang menunjukkan turunnya tingkat kualitas dari sebuah barang atau *item* adalah gangguan.

## 2.9 Gangguan Transformator Daya

Gangguan pada transformator daya tidak dapat dihindari, namun akibat dari gangguan tersebut harus diupayakan seminimal mungkin dampaknya. Berdasarkan Letak penyebab gangguan, ada dua jenis penyebab gangguan pada transformator, yaitu gangguan eksternal dan gangguan internal.

### 2.9.1 Gangguan Eksternal

Gangguan eksternal sumber gangguannya berasal dari luar pengamanan transformator, tetapi dampaknya dirasakan oleh transformator tersebut, diantaranya :

1. Gangguan hubung singkat pada jaringan

Gangguan hubung singkat diluar transformator ini biasanya dapat segera dideteksi karena timbulnya arus yang sangat besar, dapat mencapai beberapa kali arus nominalnya, seperti :

- a. Hubung singkat di rel
- b. Hubung singkat pada penyulang (*feeder*)
- c. Hubung singkat pada *incoming feeder* transformator tersebut

2. Beban lebih

Transformator daya dapat beroperasi secara terus menerus pada arus beban nominalnya. Apabila beban yang dilayani lebih besar dari 100%, maka akan terjadi pembebanan lebih. Hal ini dapat menimbulkan pemanasan yang berlebih. Kondisi ini mungkin tidak akan menimbulkan kerusakan, tetapi apabila berlangsung secara terus menerus akan memperpendek umur isolasi.

### 3. Surja petir

Gelombang surja dapat terjadi karena cuaca, yaitu petir yang menyambar jaringan transmisi dan kemudian akan merambat ke gardu terdekat dimana transformator tenaga terpasang. Walaupun hanya terjadi dalam kurun waktu sangat singkat hanya beberapa puluh mikrodetik, akan tetapi karena tegangan puncak yang dimiliki cukup tinggi dan energi yang dikandungnya besar, maka ini dapat menyebabkan kerusakan pada transformator tenaga. Bentuk gelombang dari petir yang dicatat dengan sebuah asilograf sinar katoda (berupa tegangan sebagai fungsi waktu). Disamping dapat menyebabkan kerusakan pada peralatan, gangguan tersebut dapat juga membahayakan manusia atau operator yang ada disekitarnya. Akibat-akibat yang terjadi pada manusia atau operator adalah seperti terkejut, pingsan bahkan sampai meninggal.

#### **2.9.2 Gangguan Internal**

Gangguan internal adalah gangguan yang bersumber dari daerah pengamanan/ petak bay transformator, diantaranya :

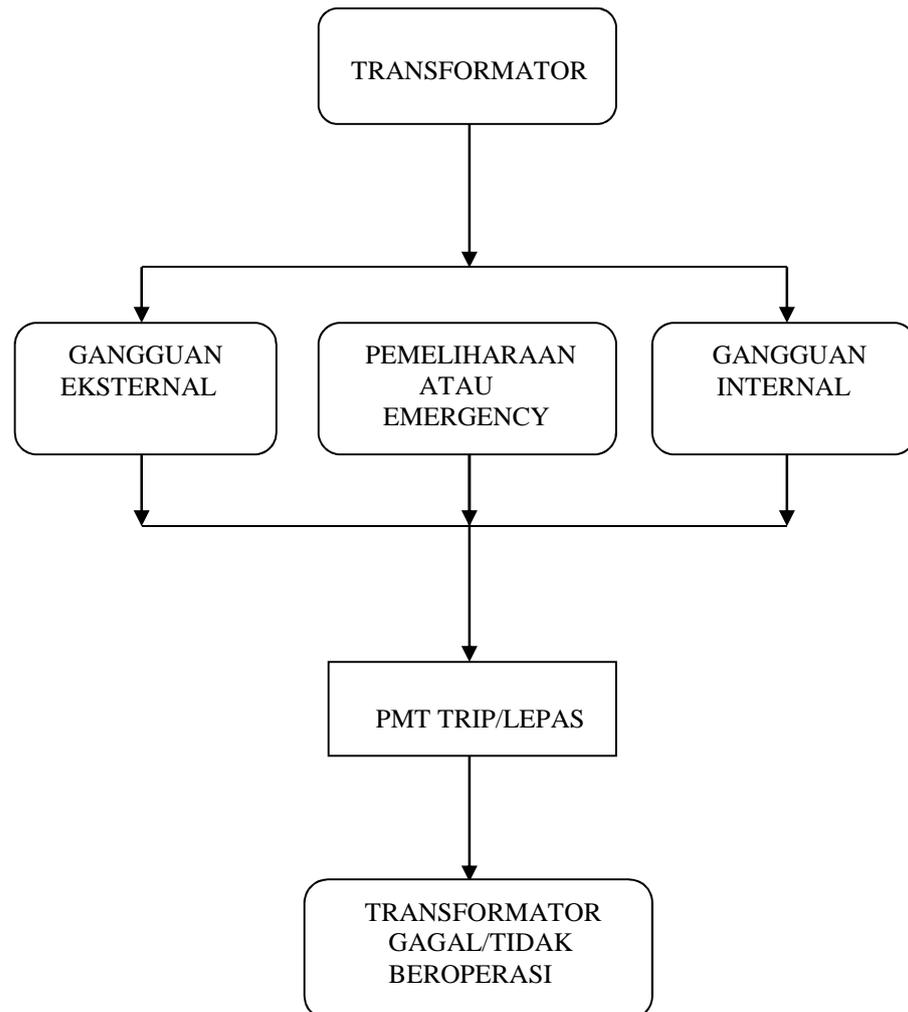
1. Gangguan Hubung Singkat Antar belitan dan Inti Tranformator Daya
2. Gangguan Hubung Singkat Belitan dengan Tangki Transformator Daya
3. Gangguan Pada Isolasi (Minyak) Transformator Daya.

#### **2.9.3 Diagram Alir Gangguan**

Kegagalan transformator daya pada umumnya disebabkan oleh gangguan, baik gangguan eksternal maupun internal. Meskipun telah dilindungi oleh rele

proteksi, gangguan yang mengakibatkan PMT trip, sehingga transformator daya tidak melayani beban tetap tidak bisa dihindari.

Berikut adalah gambar diagram alir gangguan dan penanganan gangguan penyebab PMT transformator daya Trip/Lepas.

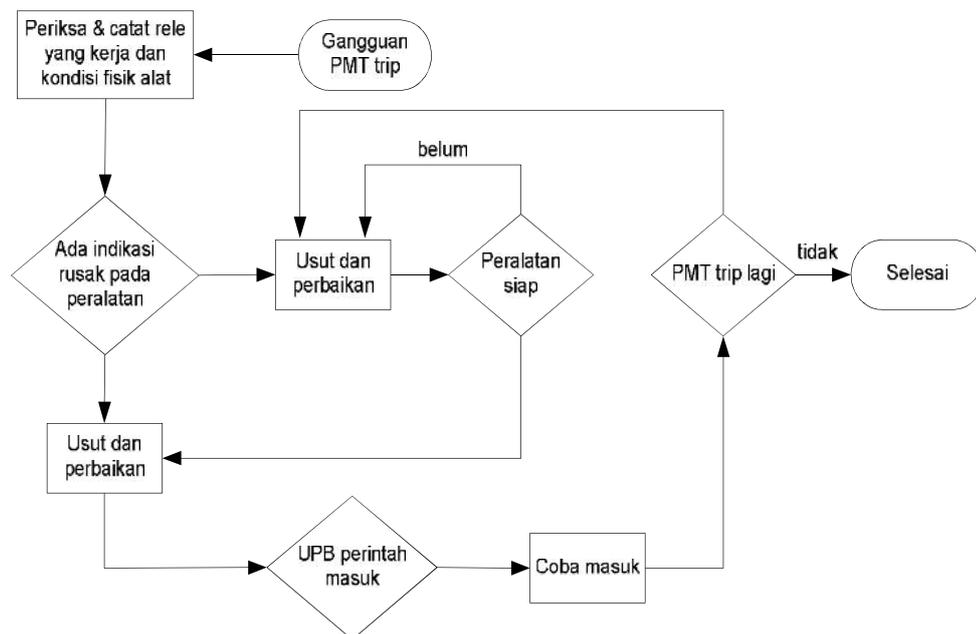


Gambar 2.15. Diagram Alir Gangguan Penyebab PMT Trip/Lepas

Pada Gambar 2.15 diagram alir gangguan penyebab PMT (Pemutus Tenaga) Trip/Lepas, bias dilihat bahwa ada 2 kondisi PMT yaitu : Trip dan Lepas, Rele OCR dan GFR bekerjasama dengan PMT (Pemutus Tenaga) untuk melindungi transformator daya dari gangguan penyebab kerusakan.

PMT (Pemutus Tenaga) trip disebabkan oleh gangguan Eksternal dan gangguan Internal, sedangkan PMT (Pemutus Tenaga) lepas disebabkan oleh Pemeliharaan, ada juga keadaan *Emergency* (darurat) yang bisa membahayakan transformator daya

#### 2.9.4 Diagram Alir Megatasi Gangguan



Gambar 2.16. Diagram Alir Mengatasi Gangguan

Pada Gambar 2.16 diagram alir mengatasi gangguan, bisa dilihat bahwa kerjasama antar rele dan PMT. Saat PMT trip, dilakukan pencatatan dan pelaporan kepada UPB (Unit Penyaluran Beban) Medan, kemudian diperiksa rele yang bekerja, maka dapat diketahui gangguan penyebab PMT trip. Setelah itu dilakukan pemeriksaan adakah kerusakan peralatan atau tidak. Jika ya, lakukan perbaikan atau pergantian alat. jika tidak ada kerusakan alat, diperbaiki sumber kerusakan. Setelah selesai perbaikan, diberikan laporan kepada UPB (Unit Penyaluran Beban) Medan, UPB (Unit Penyaluran Beban) Medan memberi

perintah PMT masuk. Jika PMT masih trip, dicatat dan dilaporkan kembali kepada UPM (Unit Penyaluran Beban) Medan, kemudian lakukan pemeriksaan lagi. Jika PMT tidak trip, lakukan pencatatan, dan laporkan kepada UPB (Unit Penyaluran Beban) Medan.

## **2.10. Keandalan Sistem Tenaga Listrik**

Pada umumnya setiap perusahaan utilitas listrik bertujuan untuk dapat menyalurkan daya kepada pelanggan secara terus menerus. Karena berhentinya pelayanan sama dengan kerugian secara ekonomi. Salah satu indikasi sistem atau komponen mempunyai nilai keandalan yang baik bisa dilihat dari kegagalan atau waktu sering atau tidaknya beroperasi, bisa karena gangguan, maupun pemeliharaan sistem ataupun komponen.

Saat ini telah banyak teori tentang keandalan, keandalan bertujuan untuk mengetahui kinerja dari sistem atau komponen, dan didasari oleh kegagalan sistem atau komponen tersebut. Teori-teori keandalan tersebut dapat berupa memperidiksi umur sistem atau komponen, mengetahui laju kegagalannya, memprediksi peluang waktu terjadi kegagalan berikutnya, dan lain sebagainya. Berbeda karakter kegagalan sistem atau komponen, maka berbeda pula pola distribusi yang digunakan untuk menganalisis keandalan sistem atau komponen.

Masing-masing pola distribusi juga memiliki parameter dan indeks keandalan yang berbeda. Pola distribusi weibull memiliki 3 parameter yaitu parameter bentuk (*Shape parameter*), parameter skala *Scale parameter*, dan parameter lokasi (*Location parameter*).

### 2.10.1. Defenisi Keandalan

Keandalan adalah suatu kemungkinan dari sebuah barang yang bekerja pada suatu kondisi tertentu dengan memuaskan dalam suatu periode tertentu. Menurut IEEE, keandalan adalah kemampuan sistem atau komponen untuk memenuhi fungsi yang dibutuhkan dalam kondisi tertentu selama rentang waktu yang spesifik. Dari sisi pandang kualitas, keandalan dapat didefinisikan sebagai kemampuan sebuah barang untuk dapat tetap berfungsi. Sedangkan dari sisi pandang kuantitatif, keandalan ditunjukkan sebagai kemungkinan bahwa tidak ada gangguan operasional yang akan muncul dalam suatu rentang waktu tertentu[5].

Supaya keandalan ini efektif di pendanaan dan waktu, maka keandalan ini harus terintegrasi dengan aktivitas-aktivitas proyek, dukungan jaminan kualitas, dan upaya rekayasa secara bersamaan[5]. Keandalan Transformator daya sangat penting diperhitungkan dalam sistem tenaga listrik, faktor yang mempengaruhinya adalah gangguan-gangguan yang menyebabkan transformator daya tidak melayani beban, bisa dikarenakan gangguan eksternal, internal, bahkan pemeliharaan transformator daya tersebut juga mengakibatkan transformator daya tidak melayani.

Hal-hal yang menjadi indikasi keandalan adalah :

1. Probabilitas / kemungkinan

Hal ini merupakan cara untuk menunjukkan sesuatu itu akan terjadi atau tidak terjadi. Besar nilainya diantara 0 dan 1

2. Bekerja sesuai dengan fungsinya

Menunjukkan tugas dari suatu komponen atau sistem

3. Periode waktu

Faktor yang menunjukkan pengukuran waktu dalam penentuan kemungkinan

4. Kondisi kerja

Kondisi kerja memiliki pengaruh penting terhadap keandalan

Sebuah barang/*item* yang memiliki fungsi tertentu ataupun unit-unit yang terstruktur (seperti komponen, peralatan, subsistem, dan sistem) yang dapat dianggap sebagai sesuatu hal yang dapat diperiksa keandalannya. Hal itu termasuk perangkat keras, perangkat lunak, atau juga keduanya dan juga sumber daya manusianya.

## **2.11. Pemeliharaan Peralatan Listrik Tegangan Tinggi**

Pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah serangkaian tindakan atau proses kegiatan untuk mempertahankan kondisi dan meyakinkan bahwa peralatan dapat berfungsi sebagaimana mestinya sehingga dapat dicegah terjadinya gangguan yang menyebabkan kerusakan[4].

### **2.11.1. Tujuan Pemeliharaan**

Tujuan pemeliharaan peralatan listrik tegangan tinggi adalah untuk menjamin kontinuitas penyaluran tenaga listrik dan menjamin keandalan, antara lain :

1. Untuk meningkatkan *reliability*, *availability* dan *efficiency*.
2. Untuk memperpanjang umur peralatan.

3. Mengurangi resiko terjadinya kegagalan atau kerusakan peralatan.
4. Meningkatkan *safety* peralatan.
5. Mengurangi lama waktu padam akibat sering gangguan.

### 2.11.2. Jenis-Jenis Pemeliharaan

Ada beberapa jenis pemeliharaan peralatan listrik, jenis-jenis pemeliharaan peralatan tersebut sebagai berikut[4 ]:

#### 1. *Predictive Maintenance (Conditional Maintenance)*

*Predictive Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan cara memprediksi kondisi suatu peralatan listrik, apakah dan kapan kemungkinannya peralatan listrik tersebut menuju kegagalan. Dengan memprediksi kondisi tersebut dapat diketahui gejala kerusakan secara dini. Cara yang biasa dipakai adalah memonitor kondisi secara online baik pada saat peralatan beroperasi atau tidak beroperasi. Untuk ini diperlukan peralatan dan personil khusus untuk analisa. Pemeliharaan ini disebut juga pemeliharaan berdasarkan kondisi (*Condition Base Maintenance*)[4].

#### 2. *Preventive Maintenance (Time Base Maintenance)*

*Preventive Maintenance* adalah kegiatan pemeliharaan yang dilaksanakan untuk mencegah terjadinya kerusakan peralatan secara tiba-tiba dan untuk mempertahankan unjuk kerja peralatan yang optimum sesuai umur teknisnya. Kegiatan ini dilaksanakan secara berkala dengan berpedoman kepada : Instruksi Manual dari pabrik, standar-standar yang ada (IEC, CIGRE, dll) dan pengalaman operasi di lapangan. Pemeliharaan ini disebut juga dengan pemeliharaan berdasarkan waktu (*Time Base Maintenance*).

### 3. *Corrective Maintenance*

*Corrective Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan dengan berencana pada waktu-waktu tertentu ketika peralatan listrik mengalami kelainan atau unjuk kerja rendah pada saat menjalankan fungsinya dengan tujuan untuk mengembalikan pada kondisi semula disertai perbaikan dan penyempurnaan instalasi. Pemeliharaan ini disebut juga *Curative Maintenance*, yang bisa berupa Trouble Shooting atau penggantian part/bagian yang rusak atau kurang berfungsi yang dilaksanakan dengan terencana.

### 4. *Breakdown Maintenance*

*Breakdown Maintenance* adalah pemeliharaan yang dilakukan setelah terjadi kerusakan mendadak yang waktunya tidak tertentu dan sifatnya darurat.

## **2.12. Pola Distribusi Statistika**

Ada banyak cara menyajikan sejumlah distribusi statistik atau probabilitas yang berguna untuk melakukan berbagai jenis penelitian dalam kehandalan, kualitas, dan keselamatan[6].

### 1. Distribusi Normal

Distribusi normal adalah salah satu distribusi kontinu yang paling banyak digunakan variabel acak, dan waktu ke waktu disebut sebagai distribusi Gaussian, karena seorang matematikawan Jerman bernama Carl Friedrich Gauss (1777-1855). Namun, distribusi itu sebenarnya ditemukan oleh De Moivre tahun 1733.

Distribusi normal dapat digunakan untuk memodelkan fenomena keausan. Parameter yang digunakan adalah  $\mu$  (nilai tengah) dan  $\sigma$  (standar deviasai). Distribusi ini juga cocok untuk model kelelahan dan fenomena wear out mesin.

karena hubungannya dengan distribusi lognormal, distribusi ini juga digunakan untuk menganalisa probabilitas lognormal.

## 2. Distribusi Binomial

Distribusi variabel diskrit acak ini digunakan dalam situasi di mana satu berkaitan dengan probabilitas hasil seperti jumlah kejadian (misalnya, kegagalan) dalam urutan angka yang diberikan percobaan. Lebih khusus, percobaan masing-masing memiliki dua hasil yang mungkin (misalnya, keberhasilan atau kegagalan), tetapi kemungkinan setiap percobaan tetap tidak berubah atau konstan.

## 3. Distribusi Poisson

Distribusi poisson adalah distribusi variabel diskrit acak dan digunakan dalam situasi di mana satu tertarik pada terjadinya sejumlah peristiwa dari jenis yang sama. Lebih khusus, distribusi yang digunakan ketika jumlah peristiwa yang mungkin adalah besar tetapi kemungkinan terjadinya selama suatu interval waktu tertentu adalah kecil. Dua contoh khas dari situasi seperti ini adalah garis menunggu dan terjadinya cacat. Distribusi ini dinamai oleh Simeon Poisson (1781-1840), seorang Perancis ahli matematika.

## 4. Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial adalah distribusi yang paling populer digunakan dalam teori keandalan. Distribusi ini menghitung keandalan dari distribusi kerusakan yang memiliki laju kerusakan konstan. Distribusi ini memiliki laju kerusakan yang tetap terhadap waktu, dengan kata lain probabilitas terjadinya kerusakan tidak tergantung pada umur alat. Distribusi eksponensial merupakan distribusi yang paling mudah dianalisa. Parameter yang digunakan dalam

distribusi eksponensial adalah , yaitu rata-rata kedatangan kerusakan yang terjadi.

#### 5. Distribusi Rayleigh

Distribusi rayleigh adalah distribusi variabel kontinu acak dan diberi nama oleh John Rayleigh (1842-1919). Distribusi ini sering digunakan dalam teori suara dan dalam studi keandalan.

#### 6. Distribusi Weibull

Dalam teori probabilitas dan statistik, distribusi Weibull adalah salah satu distribusi kontinu. Distribusi ini dinamai oleh Waloddi Weibull pada tahun 1951. Distribusi weibull merupakan distribusi yang paling banyak digunakan untuk waktu kerusakan karena distribusi ini digunakan baik untuk laju kerusakan yang meningkat maupun laju kerusakan yang menurun. Dua parameter yang digunakan dalam distribusi ini adalah yang disebut parameter skala (scale parameter) dan yang disebut parameter bentuk (shape parameter).

Pada tugas akhir ini digunakan pola distribusi weibull, karena cocok dengan karakteristik kegagalan komponen yang random, dan tidak dapat diprediksi.

### **2.13. Distribusi Weibull**

Dalam teori probabilitas dan statistik, distribusi Weibull adalah salah satu distribusi kontinu. Distribusi ini dinamai oleh Waloddi Weibull pada tahun 1951. Suatu peubah acak  $x$  berdistribusi Weibull. Parameter-parameter yang dipergunakan dalam evaluasi keandalan adalah parameter-parameter distribusi peluang. Nilai dari parameter-parameter ini sangat tergantung pada waktu kegagalan, waktu perawatan dsb. Dengan kata lain, komponen-komponen di

dalam sistem akan gagal tidak pada waktu yang sama, dan juga akan diperbaiki tidak pada waktu yang

sama pula. Dengan demikian maka time to failure (TTF) komponen pun akan berbeda satu sama lain[8]. Perbedaan TTF ini akan mempengaruhi karakter sebaran data kegagalannya yang direpresentasikan TTF komponen tertentu mungkin diwakili oleh distribusi peluang yang sama, namun memiliki nilai parameter yang berbeda. TTF komponen juga sangat mungkin diwakili oleh jenis distribusi yang berbeda, sehingga parameter yang mewakili masing-masing distribusi tersebut juga berbeda. Komponen yang TTF nya diwakili oleh distribusi Weibull memiliki jenis parameter distribusi. Parameter Bentuk (*shape parameter*), parameter lokasi (*location parameter*) dan parameter skala (*scale parameter*). Ruang lingkup kegunaan analisa weibull antara lain adalah perencanaan kegiatan pemeliharaan dan biaya penggantian yang efektif, pengevaluasian rencana-rencana kegiatan pemeliharaan perbaikan, perencanaan pengamanan spare part prediksi kerusakan, dan lain sebagainya[10].

### **2.13.1. Parameter Distribusi Weibull**

Setiap pola distribusi statistika memiliki parameter tersendiri, distribusi weibull mempunyai 2 parameter yaitu *Shape Parameter* (Parameter Bentuk), *Scale Parameter* (Parameter Skala)

#### **1. *Shape Parameter* (Parameter Bentuk)**

Parameter bentuk, seperti namanya membantu menentukan bentuk distribusi. Beberapa distribusi, seperti eksponensial atau normal, tidak memiliki

parameter bentuk karena mereka memiliki bentuk standar yang tidak berubah. Dalam kasus distribusi normal, bentuknya selalu bentuk lonceng akrab. Pengaruh parameter bentuk distribusi yang tercermin dalam bentuk pdf, fungsi keandalan dan fungsi tingkat kegagalan.

## 2. *Scale Parameter* (Parameter Skala)

Parameter skala adalah jenis yang paling umum dari parameter. Mayoritas distribusi dalam keandalan atau bidang analisis *survival* memiliki parameter skala. Dalam kasus satu-parameter distribusi, parameter satunya adalah parameter skala. Skala parameter mendefinisikan di mana sebagian besar distribusi terletak, atau bagaimana mengulurkan distribusinya. Dalam kasus distribusi normal, parameter skala adalah standar deviasi.

### 2.13.2. **Estimasi 2 Parameter Weibull**

Untuk mencari nilai indeks keandalan distribusi weibull, kita perlu terlebih dahulu mencari nilai parameter-parameter distribusi Weibull. Ada 2 metode mencari parameter distribusi weibull yaitu :

#### 1. Metode Grafik

Metode grafik biasanya digunakan karena metode yang singkat dan cepat, akan tetapi kurang akurat. Ada 2 cara metode grafik yaitu *Weibull probability plotting*, *Hazard Plotting Tehnique*.

#### 2. Metode Analisis

Metode analisis terbagi atas 3 jenis yaitu, metode *Maximum Likelihood estimator* (MLE), *Method of Moments* (MOM), *Least Square Method* (LSM).

Dalam tugas akhir ini digunakan Least Square method (LSM) untuk menghitung parameter distribusi weibull karena lebih simpel dan praktis. *Least Square Method* (LSM) merupakan salah satu metode analisis yang digunakan untuk menghitung 2 parameter distribusi weibull.

Fungsi peluang kumulatif adalah

$$F(t) = 1 - R(t) \quad (2.39)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \quad (2.40)$$

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \quad (2.41)$$

$$1 - F(t) = e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \quad (2.42)$$

$$F(t) = \frac{1}{(n+1)} \quad (2.43)$$

Lakukan 2x logaritma natural kepada persamaan agar dapat persamaan linier:

$$\ln \frac{1}{1-F(t)} = \theta \ln(t) - \theta \quad (2.44)$$

$$\text{Misalkan: } \ln \frac{1}{1-F(t)} = Y \quad (2.45)$$

$$L(t) = X \quad (2.46)$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \ln \left( \frac{1}{1-F(t)} \right) \right) \quad (2.47)$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t(i) \quad (2.48)$$

$$\theta = \frac{\{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i)) \cdot \left( \ln \left[ \frac{1}{1-F(t)} \right] \right)\} - \left\{ \sum_{i=1}^n \ln \left[ \frac{1}{1-F(t)} \right] \right\} \cdot \sum_{i=1}^n \ln t(i)}{\{n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i))^2\} - \left\{ \sum_{i=1}^n \ln t(i) \right\}^2} \quad (2.49)$$

$$\alpha = e^{\bar{y}-x/\theta} \quad (2.50)$$

Dimana :  $F(t)$  = Fungsi Peluang Kumulatif (PDF)  
 = *Shape Parameter*  
 = *Scale Parameter*  
 $n$  = Jumlah Kumulatif Kegagalan

### 2.13.3. Indeks Keandalan Distribusi Weibull

Distribusi weibull memiliki beberapa indeks keandalan seperti laju kegagalan, fungsi keandalan dan MTTF (mean time to failure)

#### 1. Laju kegagalan atau fungsi hazard

Laju kegagalan adalah fungsi hazard adalah frekuensi suatu system atau komponen gagal bekerja, biasa disimbolkan dengan  $\lambda$  (lambda).

Persamaan umum laju kegagalan atau fungsi hazard[5] :

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} \quad (2.51)$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-F(t)} \quad (2.52)$$

$$F(t) = \int_0^t f(t) dt \quad (2.53)$$

Substitukan persamaan 2.52 ke persamaan 2.53, maka didapat persamaan,

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{1-\int_0^t f(t)} \quad (2.54)$$

$$f(t) = \frac{\theta t^{\theta-1}}{a^\theta} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \quad (2.55)$$

Substitusikan persamaan 2.54 ke persamaan 2.55, maka didapat persamaan,

$$\lambda(t) = \left[ \frac{\theta t^{\theta-1}}{a^\theta} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \right] / \left[ 1 - \int_0^t \frac{\theta t^{\theta-1}}{a^\theta} e^{-\left(\frac{t}{a}\right)^\theta} \right] \quad (2.56)$$

Fungsi laju kegagalan atau fungsi hazard adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\theta}{a} t^{\theta-1} \quad (2.57)$$

Dimana :  $\lambda(t)$  = Fungsi laju kegagalan atau fungsi hazard

$F(t)$  = Probabilitas fungsi distribusi kumulatif

$a$  = Scale Parameter

$\theta$  = Shape Parameter

## 2. MTTF ( Mean Time To Failure )

MTTF ( Mean Time To Failure ) adalah waktu rata-rata terjadi kegagalan dalam suatu sistem atau komponen.

Persamaan umum MTTF ( Mean Time To Failure ) adalah :

$$M = \int_0^{\infty} t (t) d \quad (2.58)$$

$$M = \int_0^{\infty} t \frac{d(t)}{a} d \quad (2.59)$$

$$M = \int_0^{\infty} (t) d \quad (2.60)$$

Substitusikan persamaan 2.58 ke persamaan 2.59

$$M = \int_0^{\infty} e^{-\int_0^t \lambda(t) a} \quad (2.61)$$

$$M = \frac{1}{\lambda} \quad (2.62)$$

Dimana : MTTF = Waktu rata-rata terjadi kegagalan

$R(t)$  = Fungsi keandalan

$\lambda(t)$  = Fungsi laju kegagalan atau fungsi hazard

$F(t)$  = Probabilitas fungsi distribusi kumulatif

$F(t)$  = Fungsi kepekatan

$\alpha$  = Scale parameter

$\theta$  = Shape parameter

#### 2.13.4 Perhitungan Parameter Distribusi Weibull

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan parameter distribusi weibull adalah :

$$n \frac{1}{1-F(t)} \theta [n - \theta] n \quad (2.63)$$

Dimana :

$F(t)$  = Probabilitas Fungsi Kumulatif

$\theta$  = *Shape Parameter* (Parameter Bentuk)

$\alpha$  = *Scale Parameter* (Parameter Skala)

#### 2.13.5. Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau Fungsi Hazardous

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan fungsi laju kegagalan atau fungsi hazardous adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\theta}{\alpha} t^{\theta-1} \quad (2.64)$$

Dimana :

$\lambda(t)$  = Fungsi Laju Kegagalan atau Fungsi Hazardous

$\theta$  = *Shape Parameter* (Parameter Bentuk)

$\alpha$  = *Scale Parameter* (Parameter Skala)

### 2.13.6. Perhitungan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

Persamaan yang digunakan dalam perhitungan nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) adalah :

$$\text{MTTF} = \frac{1}{\lambda} \quad (2.65)$$

Dimana :

MTTF = Waktu rata-rata terjadi kegagalan

$\alpha$  = *scale parameter* (Parameter Skala)

$\theta$  = *shape parameter* (Parameter Bentuk)















## **BAB III**

### **METODE PENELITIAN**

#### **3.1. Lokasi Penelitian**

Lokasi penelitian ini dilakukan di PT. PLN ( Persero ) Gardu Induk Paya Pasir Jalan Pembangkitan Listrik No. 1 Paya Pasir, Medan – Marelan, Sumatera Utara.

#### **3.2. Waktu Penelitian**

Penelitian ini dilaksanakan pada 16 Agustus 2016 – 21 Agustus 2016 di PT. PLN ( Persero ) Gardu Induk Paya Pasir.

#### **3.3. Alat Penelitian**

Dalam penelitian ini adapun alat – alat yang digunakan antara lain :

1. Laptop
2. Software Matlab

#### **3.4. Jalannya Penelitian**

Jalannya Penelitian ini memiliki tahapan – tahapan guna menyelesaikan tugas akhir dimana penulis melakukan pedalam materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, berkomunikasi dengan tanya jawab, pengambilan data untuk melengkapi data dalam tulisan ini, dan juga melakukan bimbingan dengan dosen pembimbing.

### **3.4.1. Studi Literatur**

Pada tahapan ini dilakukan pedalaman materi untuk menyelesaikan masalah yang dirumuskan, selain itu juga dilakukan studi literatur dan jurnal yang mendukung penelitian. Studi literatur dilakukan agar dapat digunakan sebagai panduan informasi untuk mendukung penyelesaian pengolahan dan penelitian, informasi, studi literatur juga sangat di perlukan untuk pelaksanaan penelitian.

### **3.4.2. Wawancara**

Wawancara merupakan komunikasi verbal untukmenggumpulkan informasi dari seseorang. Denganmenggunakan tanya jawab secara langsung terhadap pejabat instansi terkait ataupun karyawan untuk mendapatkan data penelitian yang diperlukan.

### **3.4.3. Riset**

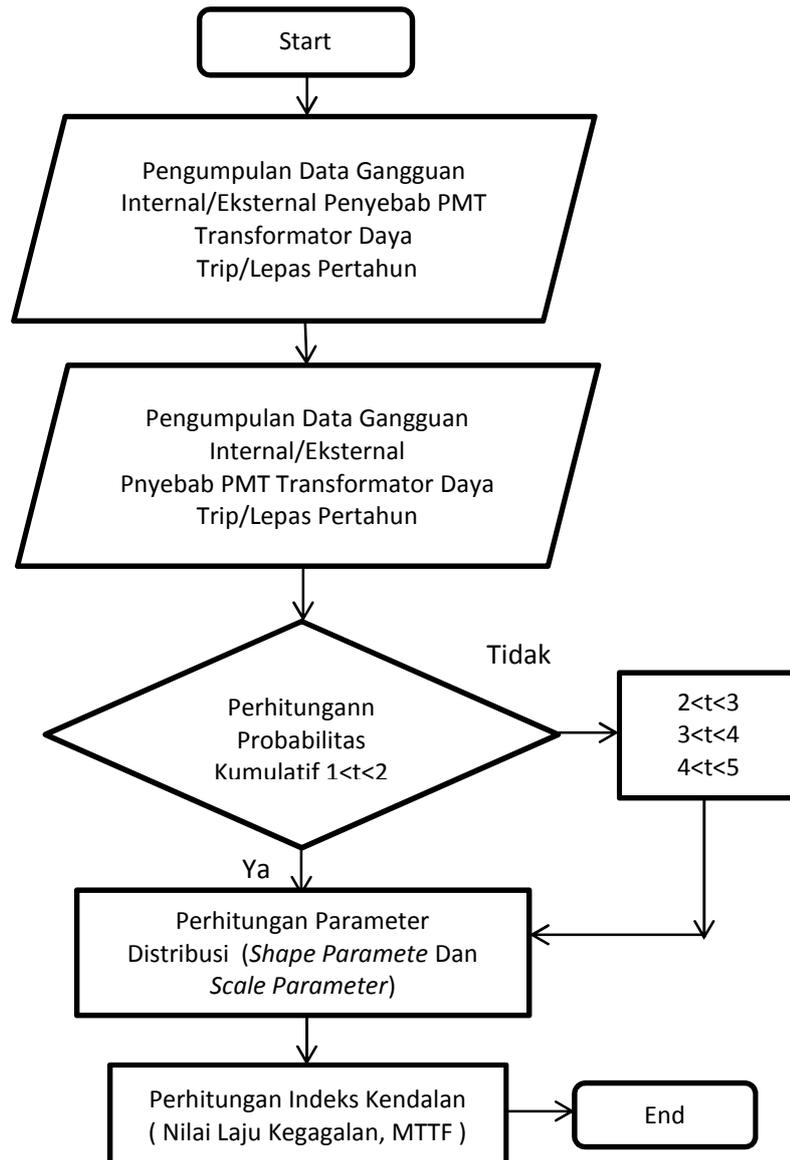
Riset atau pengambilan data dilakukanguna untuk melengkapi berbagai macam data-data dari tulisan yang akan diselesaikan agar lebih akurat dan dapat dipertanggung jawabkan.

### **3.4.4. Bimbingan**

Bimbingan merupakan komunikasi antara penulis terhadap dosen pembimbing guna untuk memperbaiki tulisan penulis bila ada kekurangan maupun kesalahan dalam penulisan.

### 3.5 Diagram Metode Penelitian

Dalam tugas akhir ini, metode penelitian yang digunakan adalah metode analisis. Data yang dianalisis merupakan data PMT Trip/Lepas yang berasal dari data bulanan perusahaan Gardu Induk Paya Pasir. Metode penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1



Gambar 3.1 Diagram Alir Metode Penelitian

Setelah didapat data PMT Trip/lepas, data tersebut dikelompokkan kedalam 3 bagian, menurut gangguan penyebab PMT Trip/lepas, Gangguan Internal, Gangguan Eksternal, dan gangguan yang tidak diketahui penyebabnya. Data hasil pengelompokkan diolah untuk mendapatkan nilai parameter distribusi weibull ( *Shape Parameter and Scale Parameter* ), dan nilai indeks keandalan transformator daya ( Laju Kegagalan, MTTF ).

### **3.6. Data Transformator Daya**

Metode pengambilan data transformator daya dengan cara mengumpulkan data bulanan perusahaan gardu induk Paya Pasir, tepatnya data trip/lepas PMT 150/20 kV transformator daya 60 MVA.

Data bulanan trip/lepas PMT 150/20 kV transformator daya 60 MVA dikelompokkan kedalam rentang waktu setahun kerja, dan dikelompokkan ke dalam penyebab terjadinya trip/lepas PMT 150/20 kV transformator daya. Data perusahaan mulai dari tahun 2013 sampai tahun 2016.

Selain data trip/lepas PMT 150/20 kV transformator daya 60 MVA, diperoleh juga data single line diagram terbaru gardu induk Paya Pasir dan

### **3.7. Data Pengelompokkan Trip/Lepas PMT 150/20 kV 3 Transformator Daya 60 MVA**

Trip/lepas PMT 150/20 kV 3 transformator daya 60 MVA dikelompokkan berdasarkan jenis gangguan yang dialami transformator daya.

Gangguan transformator daya Paya Pasir dikelompokkan kedalam 3 jenis, yaitu :

1. Gangguan Eksternal Penyebab Trip/Lepas PMT.
2. Gangguan Internal Penyebab Trip/Lepas PMT.
3. Gangguan Tidak Diketahui Penyebab Trip/Lepas PMT.

Tabel 3.1 Gangguan Eksternal Penyebab PMT 150/20 kV

Transformator Daya 60 MVA Trip/Lepas

TRAFO	URAIAN KEJADIAN				PROSES PENORMALAN				MENIT
	PMT TRIP/LEPAS				SISI ( kV )	PMT	TGL	PKL	
	SISI ( kV )	KONDISI	TGL	PKL					
TD-2	20	LEPAS	2/9/2013	8.40	150	MASUK	2/9/2013	16.29	469
	150	LEPAS	2/9/2013	8.43	150	MASUK	2/9/2013	16.25	463
TD-2	20	LEPAS	9/9/2013	8.48	150	MASUK	9/9/2013	15.21	393
	150	LEPAS	9/9/2013	8.48	150	MASUK	9/9/2013	15.16	388
TD-2	20	TRIP	14/9/2013	15.40	150	MASUK	14/9/2013	15.52	13
	150	TRIP	14/9/2013	15.40	150	MASUK	14/9/2013	15.53	14
TD-2	20	LEPAS	17/9/2013	11.00	20	MASUK	17/9/2013	11.14	11
	150	LEPAS	17/9/2013	11.00	150	MASUK	17/9/2013	11.12	8
TD-1	20	TRIP	8/10/2013	8.40	20	MASUK	8/10/2013	11.52	192
	150	TRIP	8/10/2013	8.45	150	MASUK	8/10/2013	11.49	184
TD-1	20	TRIP	8/10/2013	12.10	20	MASUK	8/10/2013	13.33	83
	150	TRIP	8/10/2013	12.10	150	MASUK	8/10/2013	13.31	79
TD-1	150	LEPAS	8/4/2014	17.10	150	MASUK	8/4/2014	17.22	12
TD-1	150	LEPAS	12/4/2014	13.20	150	MASUK	12/4/2014	14.13	53
TD-3	20	LEPAS	24/7/2014	9.01	20	MASUK	24/7/2014	18.28	567
	150	LEPAS	24/7/2014	9.02	150	MASUK	24/7/2014	16.27	565
TD-3	20	LEPAS	27/7/2014	15.10	20	MASUK	27/7/2014	21.33	385
	150	LEPAS	27/7/2014	15.10	150	MASUK	27/7/2014	21.31	382

TD-2	20	TRIP	12/2/2015	14.30	20	MASUK	12/2/2015	15.03	34
TD-1	20	LEPAS	29/7/2015	14.00	20	MASUK	29/7/2015	16.31	147
	150	LEPAS	29/7/2015	14.00	150	MASUK	29/7/2015	16.34	151
TD-2	20	LEPAS	4/9/2015	7.21	20	MASUK	4/9/2015	8.15	54
	150	LEPAS	4/9/2015	7.21	150	MASUK	4/9/2015	8.14	53
TD-2	20	TRIP	3/3/2016	23.10	20	MASUK	3/3/2016	23.32	22
TD-3	20	TRIP	2/10/2016	7.12	20	MASUK	2/10/2016	7.18	6

Tabel 3.2 Gangguan Internal Penyebab PMT 150/20 kV

## Transformator Daya 60 MVA Trip/Lepas

TRAF O	URAIAN KEJADIAN				PROSES PENORMALAN				MENIT
	PMT TRIP/LEPAS				SISI (kV)	PMT	TGL	PKL	
	SISI (kV)	KONDISI	TGL	PKL					
TD-3	20	LEPAS	1/8/2013	9.48	20	MASUK	1/8/2013	14.41	293
TD-3	20	LEPAS	8/10/2013	8.23	20	MASUK	8/10/2013	14.02	339
	150	LEPAS	8/10/2013	8.35	150	MASUK	8/10/2013	14.01	328
TD-2	150	LEPAS	8/4/2014	8.39	150	MASUK	8/4/2014	18.30	571
TD-1	20	LEPAS	22/5/2014	8.55	20	MASUK	22/5/2014	17.32	517
	150	LEPAS	22/5/2014	8.58	150	MASUK	22/5/2014	17.27	509
TD-3	20	LEPAS	21/10/2014	8.58	20	MASUK	21/10/2014	16.00	443
	150	LEPAS	21/10/2014	8.37	150	MASUK	21/10/2014	15.58	441
TD-1	20	LEPAS	23/2/2015	7.41	20	MASUK	23/2/2015	18.30	649
	150	LEPAS	23/2/2015	7.42	150	MASUK	23/2/2015	18.22	640
TD-2	20	LEPAS	7/4/2015	7.45	20	MASUK	7/4/2015	16.01	496
	150	LEPAS	7/4/2015	7.46	150	MASUK	7/4/2015	15.59	493
TD-1	20	LEPAS	14/5/2015	11.50	20	MASUK	14/5/2015	13.06	76
	150	LEPAS	14/5/2015	11.50	150	MASUK	14/5/2015	13.00	69

TD-3	20	LEPAS	22/9/2015	9.02	20	MASUK	22/9/2015	10.48	108
	150	LEPAS	22/9/2015	9.02	150	MASUK	22/9/2015	10.37	96
TD-3	20	LEPAS	14/7/2016	9.32	20	MASUK	14/7/2016	11.16	104
	150	LEPAS	14/7/2016	9.35	150	MASUK	14/7/2016	11.14	99
TD-2	20	LEPAS	25/9/2016	9.01	20	MASUK	25/9/2016	17.10	489
	150	LEPAS	25/9/2016	9.01	150	MASUK	25/9/2016	17.07	486

Tabel 3.3 Gangguan Tidak Diketahui Penyebab PMT 150/20 kV Transformator  
Daya 60 MVA Trip/Lepas

TRAFO	URAIAN KEJADIAN				PROSES PENORMALAN				MENIT
	PMT TRIP/LEPAS								
	SISI (kV)	KONDISI	TGL	PKL	SISI (kV)	PMT	TGL	PKL	
TD-1	150	TRIP	5/9/2013	14.38	150	MASUK	5/9/2013	14.48	10
TD-2	20	TRIP	8/9/2013	2.12	20	MASUK	8/9/2013	2.16	4
TD-2	20	TRIP	8/9/2013	2.20	20	MASUK	8/9/2013	2.25	5
TD-1	150	TRIP	13/9/2013	16.01	150	MASUK	13/9/2013	16.06	4

Dari tabel 3.1, 3.2, 3.3, diperoleh tabel 3.4 transformator daya  
dan gangguan penyebab kegagalan

TRANSFORMATOR DAYA	JUMLAH TRIP/LEPAS	<i>TIME TO FAILURE ( MENIT )</i>
TRANSFORMATOR DAYA 1 (TD-1)	10	1748

TRANSFORMATOR DAYA 2 (TD-2)	12	2073
TRANSFORMATOR DAYA 3 (TD-3)	8	2734
JUMLAH	30	6555

Tabel 3.5 Tabel Penyebab Kegagalan, Jumlah Trip/Lepas dan MTTF

GANGGUAN PENYEBAB KEGAGALAN	JUMLAH TRIP/LEPAS	<i>TIME TO FAILURE</i> ( MENIT )
EKSTERNAL	15	2446
INTERNAL	11	4085
TIDAK DIKETAHUI	4	24
JUMLAH	30	6555



## **BAB IV**

### **ANALISA DAN PEMBAHASAN**

#### **4.1 Analisa Data Parameter Weibull**

Untuk mendapatkan nilai fungsi laju kegagalan, nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) dan nilai *Reliability* atau keandalan  $R(t)$ , terlebih dahulu dihitung nilai parameter distribusi weibull. Dari tabel 4.5 dapat diperoleh nilai fungsi probabilitas kumulatif.

Nilai fungsi probabilitas kumulatif dihitung secara manual adalah

$$F(t) = i/(N+1), (N=30)$$

$$F(1) = 12/(30+1) = 0,3870$$

$$F(2) = 19/(30+1) = 0,6129$$

$$F(3) = 26/(30+1) = 0,8387$$

$$F(4) = 30/(30+1) = 0,9667$$

Nilai fungsi probabilitas kumulatif dihitung dengan program Matlab sehingga didapat tabel 4.1

Tabel 4.1 Fungsi Probabilitas Kumulatif

TAHUN	JUMLAH GANGGUAN PENYEBAB TRIP/LEPAS	JUMLAH KUMULATIF GANGGUAN PENYEBAB TRIP/LEPAS (i)	FUNGSI PELUANG KUMULATIF F(t) F(t) = i/(N+1) (N = 30)
1 < t 2	12	12	0,3871
2 t 3	7	19	0,6129
3 t 4	7	26	0,8387
4 t 5	4	30	0,9667

Untuk menghitung parameter distribusi weibull, digunakan persamaan

$$l_i = \frac{1}{1-F(t)} = \theta \ln(t) - \theta$$

Misalkan:  $l_i = \frac{1}{1-F(t)} = Y$

$$\ln(t) = X$$

$$\bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left( \ln \left( \ln \left( \frac{1}{1-F(t)} \right) \right) \right)$$

$$x = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln t(i)$$

$$\theta = \frac{(n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i)) \cdot \left\{ \ln \left[ \frac{1}{1-F(t)} \right] \right\}) - \left( \sum_{i=1}^n \ln \left[ \frac{1}{1-F(t)} \right] \right) \cdot \sum_{i=1}^n \ln t(i)}{\left\{ n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln t(i))^2 \right\} - \left( \sum_{i=1}^n \ln t(i) \right)^2}$$

$$a = e^{\bar{y}-x/\theta}$$

Dimana :  $F(t)$  = Fungsi Peluang Kumulatif

$\theta$  = Shape Parameter

$\alpha$  = Scale Parameter

$N$  = Jumlah Kumulatif Kegagalan

Nilai X dan Y dihitung secara manual adalah :

$$X = \ln(t), t > 1 \quad Y = l \frac{1}{1-F(t)}$$

$$X1 = \ln(2) = 0,6931 \quad Y1 = l \frac{1}{1-F(1)} = l \frac{1}{1-0,3} = -0,71432$$

$$X2 = \ln(3) = 1,0986 \quad Y2 = l \frac{1}{1-F(2)} = l \frac{1}{1-0,6} = -0,00523$$

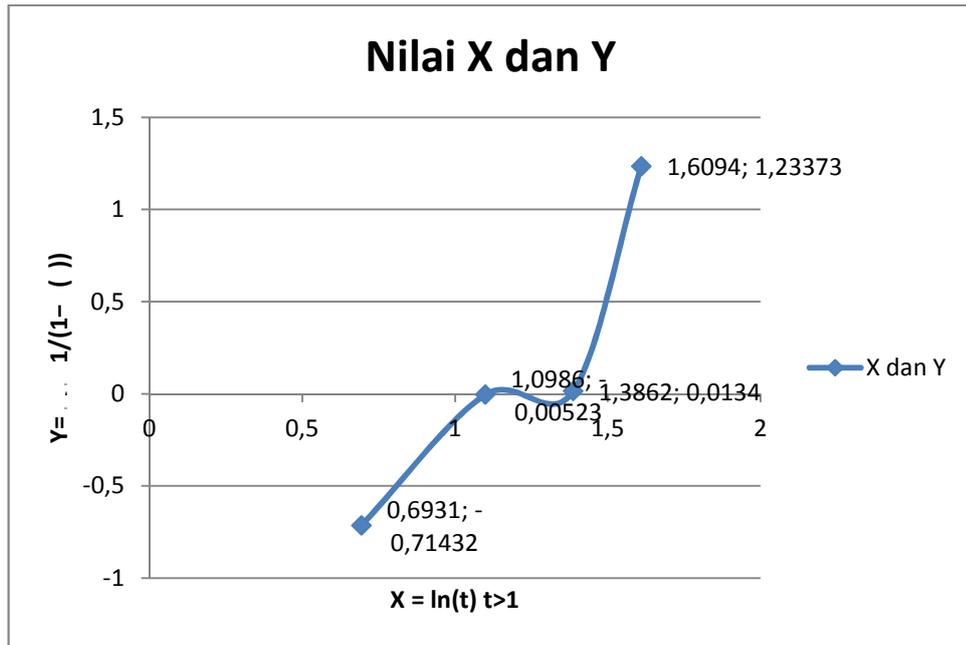
$$X3 = \ln(4) = 1,3862 \quad Y3 = l \frac{1}{1-F(3)} = l \frac{1}{1-0,8} = 0,0134$$

$$X4 = \ln(5) = 1,6094 \quad Y4 = l \frac{1}{1-F(4)} = l \frac{1}{1-0,9} = 1,23373$$

Setelah dilakukan perhitungan dengan menggunakan program Matlab diperoleh tabel 4.2

Tabel 4.2 Nilai X dan Y

TAHUN	JUMLAH GANGGUAN PENYEBAB TRIP/LEPAS	JUMLAH KUMULATIF GANGGUAN PENYEBAB TRIP/LEPAS(i)	PROBABILITAS FUNGSI KUMULATIF $F(t)$ $F(t) = i/(n+1)$ , ( $n=30$ )	$X = \ln(t)$ $t > 1$	$Y = l \frac{1}{1-F(t)}$
1 < t 2	12	12	0,3870	0,6931	-0,7143
2 < t 3	7	19	0,6129	1,0986	-0,0052
3 < t 4	7	26	0,8731	1,3862	0,6013
4 < t 5	4	30	0,9677	1,6094	1,2337



Gambar 4.1 Grafik Nilai X dan Y

Nilai *Shape Parameter* (Parameter Bentuk) dan *Scale Parameter* (Parameter Skala) adalah,

$$\theta = 2,1401(\text{Shape Parameter})$$

$$a = 1,5556(\text{Scale Parameter})$$

#### 4.2. Analisa Data Perhitungan Fungsi Laju Kegagalan atau % Fungsi Hazardous

Perhitungan Fungsi laju kegagalan diperoleh dari persamaan

$$\lambda(t) = \frac{\theta}{a} t^{\theta-1}$$

Dimana :

(t) = Fungsi Laju Kegagalan atau % Fungsi Hazardous

= Shape Parameter (Parameter Bentuk)

= Scale Parameter (Parameter Skala)

Perhitungan manual Laju Kegagalan adalah :

$$\lambda(t) = \frac{\theta}{\alpha} t^{\theta-1}$$

$$\lambda(1) = \frac{\theta}{\alpha} t^{\theta-1} = \frac{2,1}{1,5} 1^{2,1-1} = 0,8304\%/t_i \text{ hu}$$

$$\lambda(2) = \frac{\theta}{\alpha} t^{\theta-1} = \frac{2,1}{1,5} 2^{2,1-1} = 1,7850\%/t_i \text{ hu}$$

$$\lambda(3) = \frac{\theta}{\alpha} t^{\theta-1} = \frac{2,1}{1,5} 3^{2,1-1} = 2,7928\%/t_i \text{ hu}$$

$$\lambda(4) = \frac{\theta}{\alpha} t^{\theta-1} = \frac{2,1}{1,5} 4^{2,1-1} = 3,8371\%/t_i \text{ hu}$$

Laju rata-rata kegagalan adalah  $\lambda_{av}$

$$\lambda_{av} = \lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3 + \lambda_4 = 2,3113\%/tahun$$

Dengan menggunakan program *Matlab*, diperoleh table hasil perhitungan

Fungsi Laju kegagalan atau % Fungsi *Hazardous* sebagai berikut.

Tabel 4.3 Fungsi Laju Kegagalan

TAHUN	SHAPE PARAMETER ( $\theta$ )	SCALE PARAMETER ( $\alpha$ )	FUNGSI LAJU KEGAGALAN $\lambda t(\%)$
1 < t 2	2,1401	1,5556	0,6026%
2 t 3			0,7789%
3 t 4			0,9051%
4 t 5			1,0069%

### 4.3. Analisa Data Perhitungan Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

Persamaan yang digunakan untuk menghitung MTTF (Mean Time To Failure) adalah persamaan

$$MTTF = \frac{1}{\lambda}$$

Dimana :

MTTF = Waktu rata-rata terjadi kegagalan (Tahun)

$\lambda$  = Laju Kegagalan atau Fungsi hazardous (%/Tahun)

Nilai MTTF adalah

$$MTTF = 1 / \lambda$$

$$MTTF = \text{tahun}$$

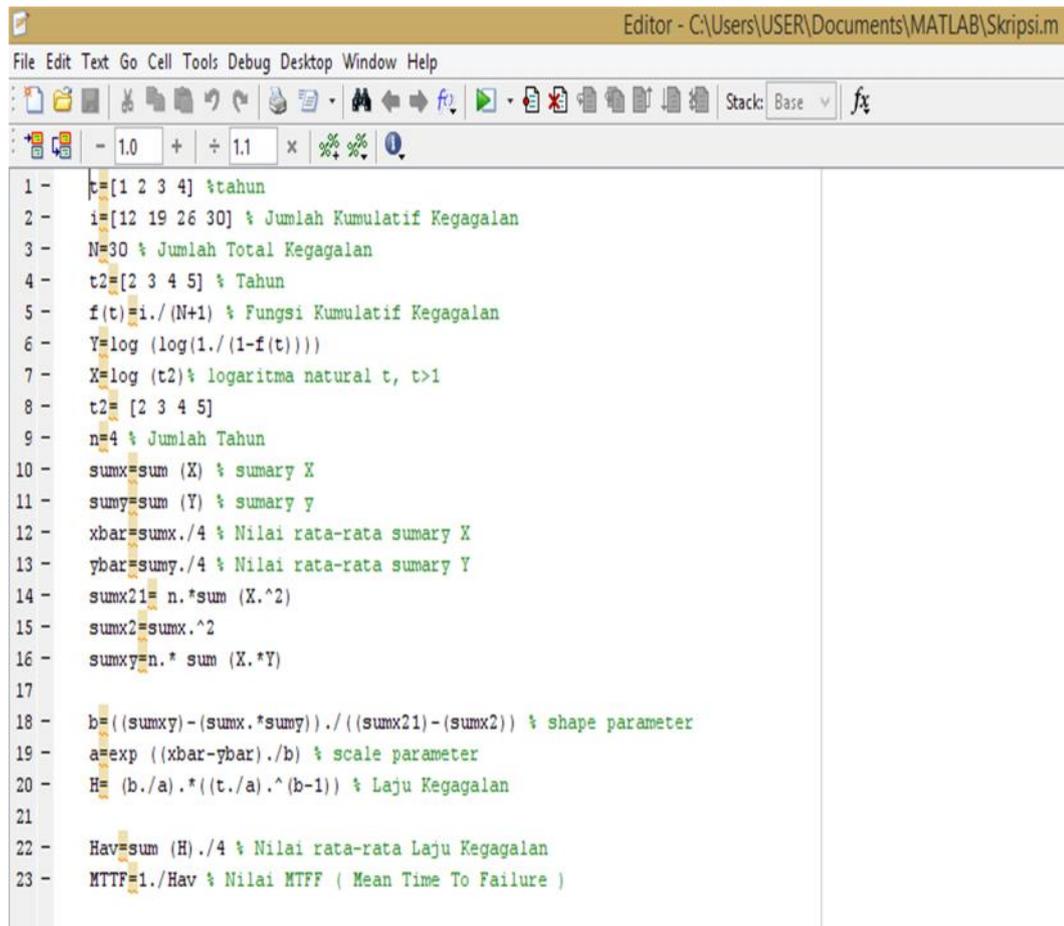
Dengan melakukan perhitungan menggunakan program *Matlab*, diperoleh tabel 4.4

Tabel 4.4 Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*)

TAHUN	FUNGSI LAJU KEGAGALAN $\lambda t$ (%/TAHUN)	RATA-RATA LAJU KEGAGALAN $\lambda$ (av) (%/TAHUN)	MTTF (TAHUN)
1 < t 2	0,3870	2,3113	0,4327
2 t 3	0,6129		
3 t 4	0,8731		
4 t 5	0,9677		

#### 4.4. Program Matlab Perhitungan Parameter Dan Indeks Keandalan Transformator Daya

Untuk mempermudah perhitungan parameter dan indeks keandalan transformator daya digunakan program matlab.



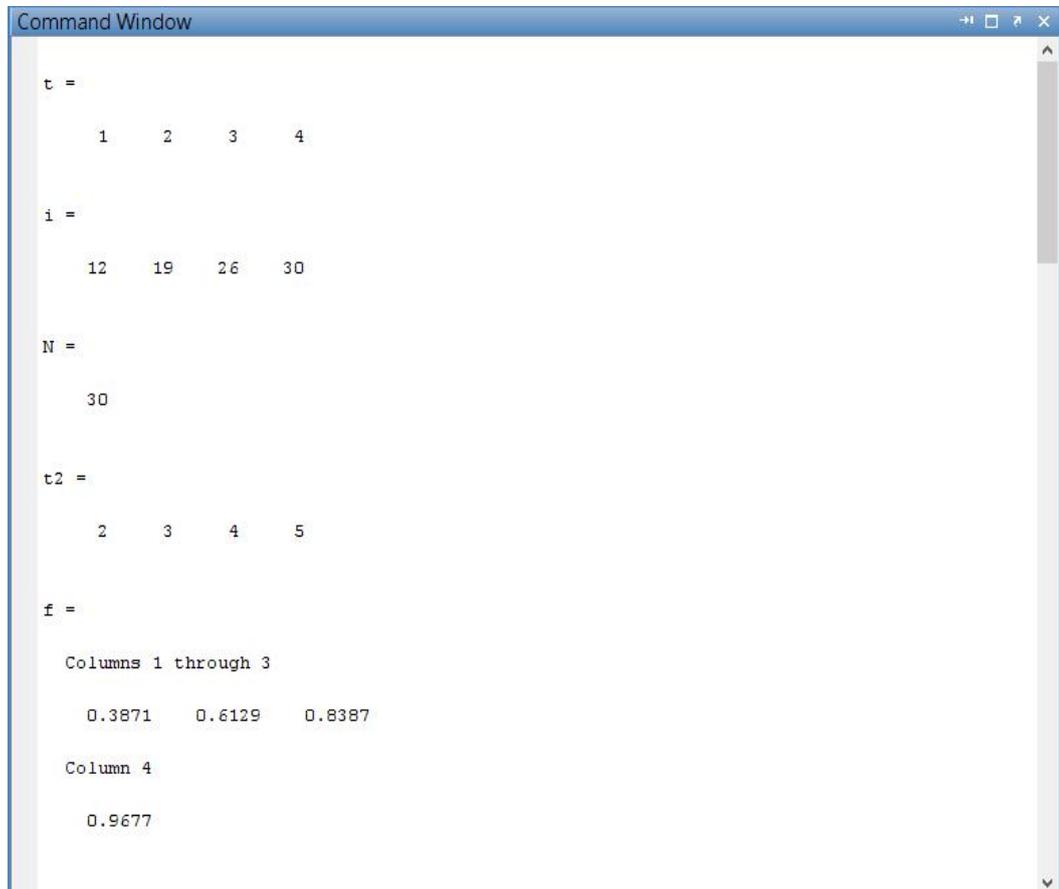
```

1 - t=[1 2 3 4] %tahun
2 - i=[12 19 26 30] % Jumlah Kumulatif Kegagalan
3 - N=30 % Jumlah Total Kegagalan
4 - t2=[2 3 4 5] % Tahun
5 - f(t)=i./(N+1) % Fungsi Kumulatif Kegagalan
6 - Y=log (log(1./(1-f(t))))
7 - X=log (t2)% logaritma natural t, t>1
8 - t2= [2 3 4 5]
9 - n=4 % Jumlah Tahun
10 - sumx=sum (X) % summary X
11 - sumy=sum (Y) % summary y
12 - xbar=sumx./4 % Nilai rata-rata summary X
13 - ybar=sumy./4 % Nilai rata-rata summary Y
14 - sumx21= n.*sum (X.^2)
15 - sumx2=sumx.^2
16 - sumxy=n.* sum (X.*Y)
17
18 - b=((sumxy)-(sumx.*sumy))./((sumx21)-(sumx2)) % shape parameter
19 - a=exp ((xbar-ybar)./b) % scale parameter
20 - H= (b./a).*((t./a).^(b-1)) % Laju Kegagalan
21
22 - Hav=sum (H) ./4 % Nilai rata-rata Laju Kegagalan
23 - MTTF=1./Hav % Nilai MTFF ( Mean Time To Failure )

```

Gambar 4.2 Program Mathlab Perhitungan Parameter dan Indeks Keandalan Transformator Daya

Hasil perhitungan fungsi kumulatif dengan program matlab bisa dilihat pada Gambar 4.3



```
Command Window
t =
     1     2     3     4

i =
    12    19    26    30

N =
    30

t2 =
     2     3     4     5

f =
Columns 1 through 3
    0.3871    0.6129    0.8387
Column 4
    0.9677
```

Gambar 4.3 Hasil Perhitungan Fungsi Kumulatif Dengan Program  
Mathlab

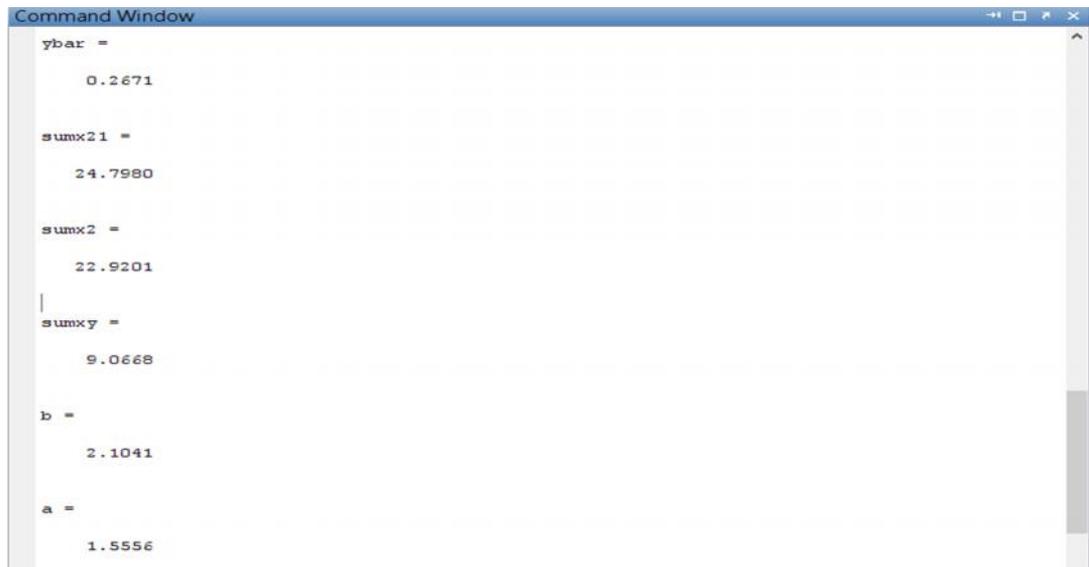
Hasil perhitungan X dan Y dapat dilihat dari Gambar 4.4

```
Command Window
Y =
Columns 1 through 3
-0.7143 -0.0523 0.6013
Column 4
1.2337
X =
Columns 1 through 3
0.6931 1.0986 1.3863
Column 4
1.6094
t2 =
2 3 4 5
n =
4
sumx =
4.7875
sumy =
1.0685
xbar =
1.1969
```

Gambar 4.4 Hasil Perhitungan Nilai X dan Y Dengan Perhitungan

Mathlab

Hasil perhitungan parameter dapat dilihat dari Gambar 4.5



```

Command Window
ybar =
    0.2671

sumx21 =
    24.7980

sumx2 =
    22.9201

|
sumxy =
    9.0668

b =
    2.1041

a =
    1.5556
  
```

Gambar 4.5 Hasil Perhitungan Parameter Dengan Program Matlab

Hasil perhitungan laju kegagalan dan MTTF (*Mean Time To Failure*) bisa dilihat dari gambar 4.6



```

H =
Columns 1 through 3
    0.8304    1.7850    2.7929

Column 4
    3.8370

Hav =
    2.3113

MTTF =
    0.4327

fx >>
  
```

Gambar 4.6 Hasil Perhitungan Laju Kegagalan dan MTTF Dengan Program

Matlab





## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

1. Gangguan yang merupakan penyebab trip/lepas PMT 150/20 kV 60 MVA trafo daya paling sering terjadi adalah gangguan eksternal, dan gangguan merupakan penyebab trip/lepas PMT 150/20 kV 60 MVA trafo daya paling lama durasi terjadi trip/lepas adalah gangguan internal. Transformator daya yang paling lama durasi trip/lepas PMT 150/20 kV 60 MVA adalah Transformator Daya 3, dan Transformator daya yang paling sering terjadi trip/lepas PMT 150/20 kV 60 MVA trafo daya adalah Transformator Daya 2.
2. Nilai MTTF (*Mean Time To Failure*) transformator daya gardu induk Paya Pasir adalah 0,4327%/tahun, nilai rata-rata laju kegagalan adalah 2,3113%/tahun.

#### 5.2 SARAN

1. Tugas Akhir ini dapat dilanjutkan dengan melakukan analisa perhitungan ekonomi seperti *cost* analisis, manajemen analisis, maupun *maintenaince* analisis. Untuk pengembangan lebih lanjut dapat dilakukan penelitian di Gardu Induk PT. PLN Persero lainnya, dengan metode yang sama maupun berbeda.
2. Pemeliharaan yang lebih terjadwal dengan baik, memberikan nilai keandalan yang lebih baik pula.



## DAFTAR PUSTAKA

- [1] sudirham, Sudaryatno. “*Analisis Keadaan Mantap rangkaian Sistem tenaga*”. Edisi Juli 2012, Bandung: Darpublic.
- [2] PT PLN (Persero) PUSDIKLAT.2009.”*Pengoperasian Peralatan Gardu Induk*”. Jakarta .
- [3] PT. PLN persero P3B. 2003. “ *Panduan pemeliharaan transformator daya*”. Jakarta.
- [4] Birolini, Alessandro. 2006. “*Reliability Engineering Theory and Process*”. 5<sup>th</sup> Edition, Leipzig: Springer.
- [5] Dhillon, B.S. 2005. “*Reliability, Quality, and Safety for Engineers*”. Florida: CRC Press.
- [6] J. Electrical Systems 2-1 (2006): 1-12,Regular paper. “*Failures Analysis and Reliability Calculation for Power Transformers*”. Tehran
- [7] <http://www.scribd.com/doc/49299327/BATH-UP-CURVE> arman.“*kurva bak mandi*” Diakses tanggal 5 Juli 2012.
- [8]<http://ezkhelenergy.blogspot.com/2011/11/sistem-proteksi.html>. “Sistem Proteksi Transformator Daya” Diakses Tanggal 20 Desember 2012.
- [9] X. Liang and L. Goel, “*Distribution System Reliability Evaluation using the Monte Carlo Simulation Method*”, ELSEVIER. Electric Power Systems Research, 40 75-83, 1997.
- [10] Olli Salmela, “ *Reliability of Telecommunication Equipment*”, 2005.
- [11] Agus Fikri, ST., MM dan Muhammad Irvan, ST., MT, “ANALISIS KEANDALAN MESIN PRODUKSI DENGAN FUNGSI DISTRIBUSI WEIBULL”, 2002.
- [12] Laporan Perusahaan GI. Paya Pasir tahun 2013, UPT MEDAN.
- [13] Laporan Perusahaan GI. Paya Pasir tahun 2014, UPT MEDAN.
- [14] Laporan Perusahaan GI. Paya Pasir tahun 2015, UPT MEDAN.
- [15] Laporan Perusahaan GI. Paya Pasir tahun 2016, UPT MEDAN.



LAMPIRAN

ONE LINE DIAGRAM GARDU INDUK PAYA PASIR

